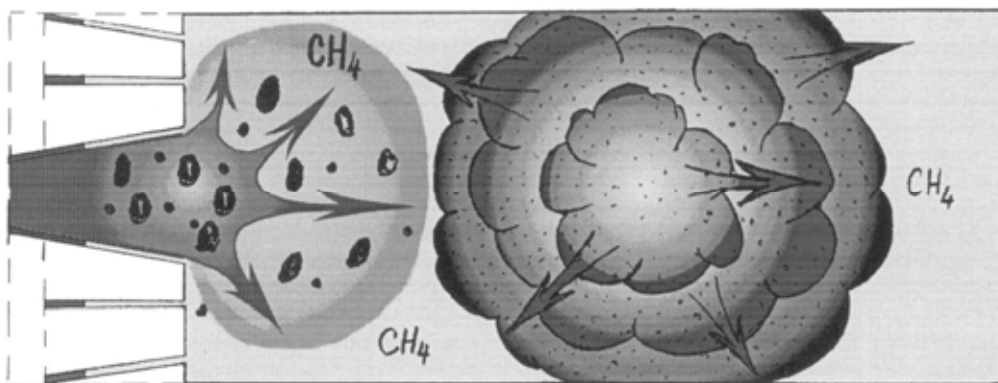


Н.Р. Шевцов

Взрывозащита горных выработок

(Курс лекций)



Донецк - 2002

**Министерство образования и науки Украины
Донецкий Национальный технический университет
ДонНТУ**

Н.Р. Шевцов

Взрывозащита горных выработок
(Курс лекций)

Утверждено
на заседании кафедры
“Строительство шахт и
подземных сооружений”
Протокол № 7
от "30" ноября 2001 г.

Рекомендовано к изданию
учебно-издательским
Советом ДонНТУ
Протокол № 2
от 26 декабря 2001 г.

Донецк - 2002

УДК 622. 235.3(24) + 622.235

Н.Р. Шевцов

Взрывозащита горных выработок (курс лекций): Учебное пособие для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. - Донецк : ДонНТУ, 2002. 280 с.

Приведены основные сведения об условиях возникновения и характера распространения взрывов метана и угольной пыли в шахтах, опасных по газу или разрабатывающих пласты, опасные по взрывам пыли. Изложена динамика взрывоопасности рудничной атмосферы в процессе разрушения горных пород взрывом. Дана характеристика возможных источников воспламенения газопылевоздушных смесей. Описаны способы и устройства, применяемые для непосредственного воздействия на взрывоопасную среду и очаг воспламенения, и условия их эффективного использования. Дана их идеология. Изложен практический опыт создания предохранительной среды при взрывных работах в подземных условиях. Приведен перечень дополнительной литературы и нормативно-технической документации по взрывозащите. После изложения каждой лекции дан перечень контрольных вопросов и заданий.

Учебное пособие рекомендуется для студентов специальности 7.090303 «Шахтное и подземное строительство». Может быть использовано студентами ВУЗов и учащимися техникумов других специальностей горного профиля, проектировщиками и инженерно-техническими работниками угольной промышленности и Госнадзорохрантруда Украины.

Рецензент: Ярембаш И.Ф., д-р техн. наук, проф.

Оглавление

	стр
Предисловие.....	9
Тема 1. Теория возникновения и развития воспламенений метана и угольной пыли в горных выработках.....	11
Лекция 1. Общие сведения об авариях, связанных с воспламенением метана и пыли в угольных шахтах.....	11
1.1 Статистика воспламенений метана и пыли в угольных шахтах.....	12
1.2 Классификация воспламенений	17
1.3 Источники воспламенений в отечественных угольных шахтах	17
1.4 Распределение воспламенений по условиям их возникновения.....	22
1.5 Вредные последствия газопылевого взрыва	24
1.5.1 Динамическое воздействие.....	24
1.5.2 Тепловое воздействие.....	27
1.5.3 Токсическое воздействие	28
Контрольные вопросы и задания.....	29
Лекция 2. Особенности развития воспламенения в горных выработках.....	30
2.1 Границы проявления опасных последствий воспламенений в выработке.....	30
2.2 Критическая длина зоны разлета высокотемпературных продуктов взрыва вдоль выработки.....	33
2.2.1 Общие понятия.....	33
2.2.2 Определяющие параметры и критерии.....	36
2.2.3 Метод определения.....	37
2.3 Скорость движения пламени в выработке.....	39
Контрольные вопросы и задания.....	41
Лекция 3. Взрывчатость газопылевоздушных смесей.....	43
3.1 Общие сведения.....	43
3.2 Взрывчатость метановоздушных смесей.....	44
3.3 Взрывчатость пылевоздушных смесей.....	56
3.4 Взрывчатость газопылевоздушных (тройных) смесей.....	60
Контрольные вопросы и задания.....	61
Лекция 4. Основные сведения о механизме воспламенения газовых и пылевых систем. Концепция взрывозащиты горных выработок...	62
4.1 Введение.....	62
4.2 Механизм возникновения воспламенения газозвудушных смесей.....	62
4.2.1 Тепловая теория.....	62
4.2.2 Теория цепных реакций.....	64
4.2.3 Цепочно-тепловой механизм воспламенения.....	67
4.3 Основные сведения о процессе взрыва в пылевых системах.....	67
4.3.1 Этапы исследований взрывчатости угольной пыли.....	67
4.3.2 Механизм взрыва пылевоздушных смесей.....	68

4.4 Современная концепция взрывозащиты горных выработок.....	69
4.4.1 Концепция предупреждения воспламенений метана и угольной пыли.....	69
4.4.2 Техническая сущность процесса локализации и подавления взрывов.....	72
4.4.3 Инструктивно-информационное и квалифицированное обеспечение.....	73
Контрольные вопросы и задания.....	80
 Тема 2. Основы взрывобезопасности угольных шахт, заложенные в технологических схемах горного предприятия.....	81
 Лекция 5. Причины воспламенения метана и угольной пыли при взрывных работах.....	81
5.1 Введение.....	81
5.2 Пылегазовая обстановка в призабойном пространстве горных выработок при взрывных работах.....	82
5.2.1 Особенности метановыделения при производстве взрывных работ.....	82
5.2.2 Особенности процесса пылеобразования при взрывных работах.....	84
5.3 Источники воспламенения метана и угольной пыли при взрывных работах.....	86
5.3.1 Характеристика детонирующего заряда как источника воспламенения.....	86
5.3.2 Характеристика выгорающего заряда ВВ как источника воспламенения.....	91
5.3.3 Опасность искрения во взрывной сети.....	93
5.3.4 Другие виды источников воспламенения.....	94
Контрольные вопросы и задания.....	95
 Лекция 6. Основы безопасности взрывных работ в шахтах, опасных по газу или пыли.....	96
6.1 Введение.....	96
6.2 Технологические параметры безопасности короткозамедленного взрывания шпуровых зарядов ВВ.....	97
6.3 Забойка шпуров при взрывных работах.....	99
6.3.1 Определение.....	99
6.3.2 Основные виды.....	100
6.3.3 Взрывозащитная эффективность.....	103
6.4 Камуфлетный способ взрывания скважинных зарядов ВВ при передовом торпедировании.....	105
6.5 Классификация забоя горных выработок по степени опасности и режимы ведения взрывных работ в угольных шахтах.....	112
6.6 Перспективы развития средств предупреждения и локализации взрывов метана и угольной пыли при производстве взрывных работ.....	113
Контрольные вопросы и задания.....	116
 Тема 3. Предохранительная среда при взрывных работах.....	118
 Лекция 7. Общая характеристика и взрывозащитная эффективность пре- дохранительной среды при взрывных работах.....	120
7.1 Основные понятия и определения.....	120
7.2 Механизм флегматизаций газопылевоздушных смесей.....	121
7.3 Флегматизирующая эффективность веществ по предупреждению воспламене-	

ний газопылевоздушных смесей.....	123
7.3.1 Процесс флегматизации газовоздушных смесей.....	123
7.3.2 Процесс флегматизации пылевоздушных смесей.....	125
7.4 Принцип действия и способ создания кратковременных предохранительных завес.....	126
7.5 Этапы развития предохранительных завес.....	128
Контрольные вопросы и задания.....	129
Лекция 8. Динамика формирования предохранительной завесы посредством взрывного распыления флегматизаторов из полиэтиленовых сосудов.....	130
8.1 Введение.....	130
8.2 Физическая модель процесса взрывного распыления веществ.....	130
8.3 Диаграмма распыления.....	135
8.4 Энергетический критерий эффективности распыляющего заряда ВВ.....	140
8.5 Роль преграды на динамику формирования предохранительной завесы.....	142
Контрольные вопросы и задания.....	145
Лекция 9. Средства и схемы создания предохранительных завес при взрывных работах.....	146
9.1 Принцип расчета	146
9.1.1 Общий расход флегматизатора на предотвращение воспламе- нений метана.....	147
9.1.2 Общий расход флегматизатора на предотвращение взрыва угольной пыли.....	151
9.1.3 Последовательность операций по установлению величины распыляемой навески флегматизатора (вместимости эластичного сосуда).....	153
9.2 Средства для формирования предохранительных завес.....	153
9.3 Схемы создания предохранительных завес в призабойном участке выработки...155	155
Контрольные вопросы и задания.....	162
Лекция 10. Расчет и область применения предохранительных завес.....	164
10.1 Обоснование удельного расхода флегматизатора на создание предохранительных завес в шахтах.....	164
10.1.1 Удельный расход из условий предотвращения взрыва метановоздуш- ной смеси.....	164
10.1.2 Удельный расход из условий предотвращения взрыва пылевоз- душной смеси.....	166
10.1.3 Нормативный удельный расход.....	166
10.2 Инженерный метод расчета предохранительных завес при взрывных работах в шахтах.....	166
10.3 Область применения предохранительных завес.....	175
10.4 Организация работ.....	175
10.5 Испытания предохранительных завес в опытном штреке.....	176
Контрольные вопросы и задания.....	178

Лекция 11. Длительно действующая предохранительная среда.....	179
11.1 Введение.....	179
11.2 Основные направления в создании длительно действующей предохранительной среды.....	180
11.3 Предохранительная среда из высокократной воздушно-механической пены.....	182
11.4 Водяные и водовоздушные завесы.....	184
11.4.1 Водяные форсуночные завесы.....	185
11.4.2 Водозежекторная установка.....	186
11.4.3 Тонкодисперсные водяные аэрозоли.....	187
11.5 Заключение.....	189
Контрольные вопросы и задания.....	189
Тема 4. Предупреждение воспламенений метана и угольной пыли по сети горных выработок.....	191
Лекция 12. Предупреждение взрывов отложившейся угольной пыли.....	191
12.1 Общие положения.....	191
12.2 Осланцевание горных выработок.....	192
12.3 Орошение угольной пыли.....	197
12.4 Уборка пыли.....	200
12.5 Связывание угольной пыли.....	201
12.5.1 Побелка горных выработок.....	201
12.5.2 Связывание угольной пыли смачивающе-связующими составами.....	202
12.6 Увлажнение угля в массиве.....	202
Контрольные вопросы и задания.....	203
Тема 5. Теория, способы и средства локализации вспышек и взрывов метановоздушных смесей дисперсными системами в горных выработках.....	204
Лекция 13. Условия локализации взрывов дисперсными системами в горных выработках.....	204
13.1 Общие положения.....	204
13.2 Условия локализации вспышек и взрывов за пределами взрывчатой среды.....	206
13.3 Условия локализации вспышек во взрывчатой среде.....	209
13.4 Условия локализации взрывов во взрывчатой среде.....	211
13.5 Диаграмма локализации взрыва дисперсными системами в загазированных (запыленных) горных выработках.....	214
Контрольные вопросы и задания.....	218
Лекция 14. Пассивные заслоны.....	220
14.1 Общие сведения.....	220
14.2 Принцип действия, классификация и область применения.....	221
14.3 Конструкция заслона.....	222

14.3.1 Сланцевые заслоны.....	222
14.3.2 Водяные заслоны.....	223
14.4 Схемы установки заслонов в выработках.....	224
14.5 Критическая оценка взрывозащитной эффективности пассивных заслонов.....	225
Контрольные вопросы и задания.....	229
 Лекция 15. Автоматическая система локализации взрывов метана и угольной пыли в горных выработках.....	230
15.1 Принцип действия автоматических систем защиты объектов от аварии.....	230
15.2 Общая характеристика автоматических систем с принудительным распылением веществ.....	233
15.3 Конструктивные особенности зарубежных образцов автоматических систем для угольных шахт	235
15.4 Автоматическая система локализации взрывов при взрывных работах в горных выработках «Заслон АВП 1»	238
15.5 Автоматическая система локализация взрывов по сети горных выработок СЛВА-1.....	244
Контрольные вопросы и задания.....	246
 Тема 6 Дополнительные способы и средства предупреждения воспламенений метана и угольной пыли.....	248
 Лекция 16. Предупреждение взрывов газопылевоздушных смесей при проведении выработок комбайнами.....	248
16.1 Общие положения.....	248
16.2 Механизм воспламенения метановоздушной смеси фрикционными искрами.....	249
16.3 Способы и средства предупреждения воспламенений газопылевоздушных смесей при работе проходческих комбайнов.....	252
16.3.1 Способы, основанные на применении диспергированной воды ...	252
16.3.1.1 Орошение.....	253
16.3.1.2 Водовоздушная завеса.....	253
16.3.1.3 Предохранительная водяная завеса в зоне разрушения угля.....	253
16.3.2 Пылеулавливание.....	255
16.3.3 Предварительная обработка угольного массива водными растворами флегматизаторов.....	256
16.4 Автоматическая система взрывоподавления на проходческих комбайнах....	258
Контрольные вопросы и задания.....	260
 Лекция 17. Дополнительные направления взрывозащиты объектов и технологических процессов.....	261
17.1 Предупреждение воспламенений метановоздушных смесей и	

взрыва электродетонаторов от зарядов статического электричества.....	261
17.2 Основные принципы взрывозащиты дегазационных систем угольных шахт.....	266
17.3 Взрывозащита при бурении скважин.....	268
17.4 Особенности взрывозащиты подземных сооружений и метрополитенов.....	271
Контрольные вопросы и задания.....	275
 Тема 7. Системы обеспечения взрывобезопасности производств....	 277
 Лекция 18. Основы взрывозащиты технологического оборудования.....	 277
18.1 Устройства для сброса давления взрыва.....	278
18.1.1 Предохранительные мембраны.....	278
18.1.2 Взрывные клапаны.....	280
18.2 Огнепреградители.....	280
18.3 Системы активного подавления взрывов (автоматические системы взрывоподавления).....	282
Контрольные вопросы и задания.....	283
 Дополнительная литература.....	 284
Нормативно-технические документы.....	285

Предисловие

Среди опасностей горного производства наиболее тяжелыми по своим последствиям по-прежнему остаются аварии, связанные с воспламенением метана и угольной пыли, которые в большинстве случаев носят характер катастроф.

Те разрозненные отрывочные сведения, которые получают студенты при изучении специальных курсов (рудничная аэрология, строительство горных выработок, разрушение горных пород взрывом и др.) не дают цельное представление будущим специалистам о теории и практике взрывозащиты угольных шахт. Поэтому не случайно, что происшедшие в угольных шахтах аварии обусловлены в настоящее время не столько несовершенством существующих средств техники безопасности и ухудшением горно-геологических условий эксплуатации угольных месторождений, сколько несоблюдением правил безопасности, низкой эффективностью исполнения и нарушениями технологической дисциплины. Корни большинства этих аварий кроются не столько в организационно-информационных и технологических просчетах, сколько в низкой квалификации ИТР по технике безопасности вообще и технике взрывозащиты в частности. От знаний студентами основ способов и средств взрывозащиты горных выработок, во многом будет зависеть в будущем безаварийная работа шахт.

В современную эпоху предупреждение и локализация взрывов в шахтах приобретает особую значимость, становится не только актуальной задачей, но и чуть ли не единственным способом жизнеобеспечения в шахтах и сохранения предприятия.

Дисциплина «Взрывозащита горных выработок» изучает теорию и практику обеспечения взрывобезопасности горных работ.

Она с 1996 г. входит в учебные планы специальности «Шахтное и подземное строительство» Донецкого национального технического университета (ДонНТУ).

Цель курса - дать горному инженеру-строителю основные сведения по теории и практике предупреждения и локализации взрывов газопылевоздушных смесей, необходимые для понимания и правильного решения стоящих перед ними задач в области безопасности горных работ, и тем самым научить его предвидеть воспламенения метана и угольной пыли и свести до минимума все опасности, грозящие горнорабочим, подземным коммуникациям и оборудованию.

Задачами дисциплины является подготовка специалистов, которые должны:

- а). знать:
 - теорию возникновения и предупреждения развития воспламенений метана в шахтах;
 - наиболее вероятные причины и источники воспламенения;

- комплекс технических и организационных мероприятий, направленных на обеспечение взрывобезопасности горных работ и направления их совершенствования;
- нормативные документы по взрывозащите.

б). уметь:

- разрабатывать систему взрывозащиты угольных шахт;
- корректировать взрывозащитные мероприятия при изменении горно-геологических и горнотехнических условий;
- устанавливать причины происшедших взрывов;
- критически оценивать действия рабочих и ИТР с позиций того, что они могут привести (прямо или косвенно) к воспламенению метана и угольной пыли.

в). иметь представление о:

- системах взрывозащиты замкнутых технологических аппаратов;
- порядке расследования и ликвидации последствий аварий, связанных с воспламенениями пылегазовоздушных смесей.

Идея создания курса принадлежит д.т.н., проф. Шевцову Н.Р., который около 30 лет проработал в Государственном Макеевском научно-исследовательском институте по безопасности работ в горной промышленности (МакНИИ).

Отдельные вопросы, касающиеся механизма воспламенения газопылевоздушной смеси и предупреждения и локализации взрывов, а также способы и средства взрывозащиты горных выработок и промышленных объектов освещены с разной степенью полноты изложения в приведенной дополнительной литературе, а также в соответствующих нормативных документах.

Компьютерный набор рукописи в процессе ее составления и корректировки осуществлен вспомогательным персоналом кафедры «Строительство шахт и подземных сооружений» ДонНТУ.

Автор будет признателен за предложения и замечания по учебному пособию, направленные на его дальнейшее улучшение.

ТЕМА 1. ТЕОРИЯ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И РАЗВИТИЯ ВОСПЛАМЕНЕНИЙ МЕТАНА И УГОЛЬНОЙ ПЫЛИ В ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ

Лекция 1. Общие сведения об авариях, связанных с воспламенением метана и пыли в угольных шахтах

Специфической особенностью угольных шахт, опасных по газу или разрабатывающих пласты, опасные по взрывам пыли, является наличие в рудничной атмосфере метана и угольной пыли, которые в смеси с воздухом могут образовывать взрывчатые системы.

Метан выделяется в атмосферу угольных шахт из массива, а также из разрыхленного взрывом или механическим способом угля. Различают три вида выделения газа:

- обычное - из пор и трещин, невидимых глазом;
- суфлярное - из трещин, видимых глазом;
- внезапное, когда происходит выброс газа из толщи массива обычно в короткое время.

Пыль образуется при всех процессах горного производства. Однако из всех производственных процессов взрывные работы в угольных шахтах характеризуются наибольшей интенсивностью пылевыведения, т.е. количеством пыли, поступающей в рудничную атмосферу в единицу времени. Образовавшаяся угольная пыль некоторое время находится в воздухе во взвешенном состоянии, оседая затем на почве, стенках выработки и на крепи.

Запыленность рудничной атмосферы может быть очень большой, так как помимо пыли, образовавшейся, например, при взрыве шпуровых зарядов ВВ, во взвешенное состояние может переходить под действием воздушной ударной волны угольная пыль, ранее осевшая на стенках и на почве выработки.

Поэтому среди опасностей горного производства наиболее тяжелыми по своим последствиям являются аварии, связанные с воспламенением метана и угольной пыли, которые в большинстве случаев носят характер катастроф. Они сопровождаются значительными человеческими жертвами, приводят к крупным материальным потерям, наносят повреждения подземным коммуникациям и оборудованию, и нередко разрушают их или выводят из строя.

Например, в 1998 г. ГХК «Макеевуголь» каждая производственная травма обошлась в 12 тыс. грн., а каждая смерть – 20 тыс. грн. Но какими цифрами можно измерить боль и страдания, потерю близких?

Воспламенения метана или другого горючего газа и угольной или другой органической пыли относятся, как известно, к химическим взрывам.

Химическим взрывом называется самораспространяющееся с большой скоростью химическое превращение газа или пыли, протекающее с выделением большого количества тепла и образованием большого объема газообразных продуктов.

Из этого определения вытекает четыре основных условия, которым должна удовлетворять химическая реакция для того, чтобы она могла протекать в форме взрыва:

- экзотермичность;
- образование газов или паров;
- большая скорость (крайне быстрое протекание явления);
- способность к самораспространению.

Каждое из этих условий играет немалую роль и не может быть исключено, иначе процесс не будет взрывом.

Образовавшиеся при взрыве газы или пары, будучи нагретыми теплотой взрыва, производят механическую работу разрушения.

1.1 Статистика воспламенений метана и пыли в угольных шахтах

Извечные враги горняков - обвалы, внезапные выбросы угля и газа, взрывы газа и пыли – остаются до настоящего времени не покоренными.

Особенно страшные несчастия влекут за собой взрывы гремучего газа (метановоздушной смеси). В угольных шахтах достаточно одной искры, чтобы гремучий газ дал взрыв огромной силы. Поэтому с тех пор, как шахтеры начали добывать уголь, рудничный газ и угольная пыль стали их самым страшным бичом.

Например, за шестьдесят лет XIX века на одних только шахтах Франции и Бельгии произошло 1200 взрывов рудничного газа.

Один только взрыв 1866 года на английской шахте в Йоркшире унес 360 жизней.

Число и взрывов газа и пыли исчисляется в мировых масштабах тысячами.

Первые взрывы зарегистрированы в Европе как взрывы органической пыли. Они произошли на мукомольных мельницах в 1785г в Генуе (Италия).

10 марта 1906 г. на руднике “Курьер” (Франция) произошел один из самых грандиозных взрывов угольной пыли, в результате которого из 1664 горнорабочих, находившихся под землей, погибло 1099. Многие были тяжело ранены. Взрыв охватил все горные выработки, имевшие общую протяженность 100 км.

В состав рудника “Курьер” входило шесть шахт, горные выработки которых были сбиты между собой. Эти шахты разрабатывали три угольных пласта с выходом летучих веществ 27,3...33,3%, т.е. весьма опасных по взрыву пыли. За время их работы ни разу не было обнаружено следов метана. Порода, как и уголь, разрушалась взрывным способом. Результаты расследования аварии показали, что причиной гибели горнорабочих послужил взрыв угольной пыли, которая в большом количестве находилась в горных выработках. Источником воспламенения пыли были взрывные работы, проводимые непригодным ВВ - динамитом.

В следующем 1907 году рекордным стал взрыв пыли в американской шахте “Монота” в Вирджинии. Из 370 шахтеров только 8 осталось в живых. Еще через год взорвался рудничный газ на одной из самых лучших шахт Германии - “Радбод”. Жертвами взрыва стали 348 человек.

В 1934 г. в шахте “Уэксхем” (Англия) погибло 263 человека.

В 1956 г. в шахте “Марксинель” (Бельгия) погибло 263 человека.

Самой крупной катастрофой в мировой угольной промышленности является взрыв газа и пыли в шахте “Хонкейко” в Маньчжурии, происшедший 26 апреля 1942 г., в результате которого погибло 1527 горняков.

При расследовании аварии было установлено, что от короткого замыкания воспламенился метан, который вызвал взрыв угольной пыли. Шахта разрабатывала пласты с выходом летучих веществ 18%. Считалось, что такая пыль невзрывчатая и поэтому никаких мер для борьбы с ней не применялось.

Особой спецификой отличался взрыв, происшедший 21 октября 1930 г. на шахте “Анна” в Альсдорфе (Германия). Он возник на поверхности в надшахтном здании, а затем распространился по наклонному стволу в горные выработки шахты. Ствол шахты был сухой и очень запыленный. В результате взрыва погибло 265 человек. Взрывом было разрушено надшахтное здание с копром, а также другие сооружения на поверхности. Значительное число горных рабочих погибло в результате отравления окисью углерода.

Подобные катастрофы можно перечислять долго. Так, например, с 1951 по 1965 гг. только в Великобритании зарегистрировано 38 взрывов с общим числом смертельных случаев 319. В Индии в 1958 г. по всем шахтам погибло 500 человек, а в 1965 г. - 306 человек.

С 1962 по 1966 гг. на ряде шахт Японии в результате взрыва газа и пыли погибло 1149 человек, в том числе в 1963 г. - 457 человек, а в 1965 г. - 423 человека.

Первый взрыв в Донбассе произошел в 1898 г. в шахте “Иван” в г. Макеевке (в последствии шахта имени В.И. Ленина), основанной в 70-х годах прошлого столетия одним из крупнейших помещиков области Войска Донского Иловайским. Во время этого взрыва погибло 74 человека.

В 1905 году на этой шахте был повторный взрыв.

18 июля 1908 г. на Рыковских конях (шахта 4 бис «Юзовка» - располагалась в нынешнем Калининском районе города Донецка) произошел самый грандиозный взрыв за всю историю горного дела Донбасса, Украины и бывшего СССР. Погибло 283 человека из 406, находившихся в шахте. Большинство же рабочих оказались изувеченными и обожженными.

В 8 часов вечера раздался гром взрыва, который прокатился по всем выработкам и был слышен в поселке. Из шахты вырвался столб пламени. К месту взрыва сбегались жены и дети рабочих. Группа смельчаков решила спуститься в шахту, но их скоро вытащили обратно без чувств. Несмотря на это новые люди спускались в шахту, стали очищать ее от обломков и вытаскивать рабочих. Трагедии, связанные с этой шахтой, на этом не закончились. После аварии на ней сохранилось два шахтных вертикальных ствола. В годы Великой

отечественной войны фашисты сбросили в них тысячи евреев и граждан других национальностей.

По решению исполкома города Донецка на этом месте будет сооружен памятник погибшим в Донбассе шахтерам. 25 августа 1996 г. в день Шахтера в торжественной обстановке (с салютом) был установлен на месте будущего памятника гранитный обелиск.

Крупная катастрофа современности в бывшем СССР произошла 20 февраля 1978 года в шахте “Сакурская” ПО “Карагандауголь”. Взрыв метана и угольной пыли произошел между первой и второй сменами от вскрытия головного светильника. Пострадало 92 человека, в том числе 72 смертельно.

Крупный взрыв метана и угольной пыли в Донбассе за послевоенные годы произошел 26 апреля 1980 г. в шахте “Горская” ПО “Первомайскуголь”. Погибло 64 горнорабочих 2 горноспасателя. Взрыв метана и угольной пыли произошел от взрыва открытого накладного заряда - аммонита Т-19 при дроблении негабаритов в конвейерной ходке 6-й центральной лавы пласта К8 горизонта 900 м (мощность пласта 1,4...1,5 м, уголь марки Г).

Аналогичная по своим трагическим последствиям катастрофа произошла 4 апреля 1998 года в шахте им. А.А. Скочинского ГХК «Донуголь», при которой в результате взрыва метана и угольной пыли погибло 65 горнорабочих и травмировано (отравилось угарным газом) 130 чел. Воспламенение метана началось в угольном аккумулирующем бункере от искрения в коробке вводов электродвигателя ленточного конвейера и привело к взрыву угольной пыли, распространившемуся по выработкам выемочных участков двух лав.

Продолжительное по времени взрывное горение метана зарегистрировано в 1979 г. в шахте “Контарная” ш/у “Контарное” ПО “Шахтерскантрацит”. 14 февраля в 11 ч. 45 мин. произошел взрыв метана в выработанном пространстве лавы № 9 участка № 2 в результате взрывания зарядов аммонита Т-19 с целью освобождения зажатой секции крепи. Спецификой аварии было то, что после первого взрыва происходило в течение 3-х суток еще 12 повторных взрывов в этой же лаве, а именно:

14 февраля 1979 г. - 1-й в 11 ч 45 мин, 2-й в 19 ч 26 мин;

15 февраля - 3-й в 0 ч 50 мин, 4-й в 6 ч 45 мин, 5-й в 10 ч 53 мин, 6-й в 12 ч 37 мин, 7-й в 15 ч 25 мин, 8-й в 19 ч 37 мин, 9-й в 19 ч 40 мин, 10-й в 22 ч 00 мин;

16 февраля - 11-й в 1 ч 40 мин, 12-й в 13 ч 10 мин, 13-й в 14 ч 35 мин.

10.08.59 в шахте № 9 треста “Торезантрацит” в 18 ч. при ведении взрывных работ воспламенился метан (взрывание без забойки). Пламя охватило большое пространство и пошло вглубь выработанного пространства. В 19 ч. 40 мин. отделение ВГСЧ установило, что горел метан, выделяющийся из трещин, образовавшихся при посадке лавы. Концентрация метана у очага горения составляла 5,5%. Гашение пламени производилось водой дистанционно одним неподвижно установленным стволом и оросителем МВВ-3. Однако погасить пламя не удалось, т.к. горел суфляр. 11 августа горение увеличилось и начало распространяться к вентиляционному штреку. 12 августа в 2 ч произошел сильный взрыв. Горноспасателей взрывной волной выбросило на вентиляционный штрек. Часть горноспасателей получила серьезные травмы. Ла-

ву мгновенно заполнил дым и угольная пыль, которые распространились на вентиляционный и откаточный штреки. Взрывы (более 20) продолжались в течение всего дня 12 августа. В 22 ч. несмотря на взрывы были возведены три дополнительные бетонные перемычки, а затем лаву затопили.

Одной из наиболее сложных по своим обстоятельствам явилась авария, происшедшая 5 февраля 1981 г. в шахте “Кондратьевка” ш/у “Александр-Запад” ПО “Артемуголь”. В 21 ч. 10 мин. динамические и тепловые воздействия взрыва МВС были обнаружены одновременно в вентиляционных штреках № 28 пл. т5 “Куцый” гор. 620 м и № 30 пл. т4 “Георгиевский”, который залегает в почве на расстоянии 25 м от т5 по нормали. Для выяснения этого загадочного, на первый взгляд, обстоятельства экспертной комиссией было проанализировано 9 возможных источников воспламенения, а именно:

- аккумуляторный электровоз,
- фрикционное искрение,
- разряд статического электричества,
- телефонная кабельная сеть и аппараты,
- датчик аппаратуры АМТ-3,
- головной светильник,
- самовозгорание угля,
- курение,
- взрывные работы.

Для установления аэродинамической связи между этими вентиляционными штреками были проведены эксперименты с применением радиоактивных изотопов. В результате было установлено, что воспламенение метана произошло в 16 ч. 40 мин. в не погашенной части бывшего откаточного штрека (в присечку с которым проводился вентиляционный штрек № 28) от продуктов детонации шпуровых зарядов угленита Э-6 в забое вентиляционного штрека № 28, прорвавшихся через трещины. Это воспламенение в течение 4 ч 30 мин поддерживалось в пустотах и трещинах междупластья, а затем перешло во вспышку с выбросом пламени в обе действующие выработки.

Случаи взрывов и вспышек метана через продолжительное время после воспламенения его и до этого были известны в горной практике (ш. “Добропольская” - через 6 ч, ш/у “Рассвет” - через 4 ч, ш. «Ганзовка» - через четверо суток).

11 марта 2000 г. в 12ч. 35 мин. в шахте им. Н.П. Баракова (г. Красnodон, Украина) произошел самый крупный в Украине в послевоенные годы взрыв угольной пыли, при котором было травмировано 87 человек, из них 80 смертельно. Причина – ведение огневых работ во взрывоопасных условиях.

На аварийном участке производились огневые работы с использованием керасинореза для снятия гаек с болтов при замене натяжного барабана конвейера 1Л-100К № 4. Источником воспламенения пылевоздушной смеси явилось горение масла и изготовленной из алюминиевого сплава верхней части корпуса баллонного редуктора в среде с высоким содержанием кислорода. Взрывчатая пылевоздушная смесь образовалась в результате поднятия отло-

жившейся пыли во взвешенное состояние свободноистекающим под большим давлением кислородом из разгерметизированного баллона. Взрыв пылевоздушной смеси произошел в 31 западном штреке на сопряжении с магистральным штреком и распространился навстречу свежей вентиляционной струи вдоль штрека (длина 650 м), по ходу 27 лавы (длина 250 м) и по центральному вентиляционному ходу (длина 1300 м) вплоть до загрузочного бункера скипового ствола. Об этом свидетельствуют следы ожогов открытых частей тела потерпевших, обугливание оболочки бронированного кабеля, пламенное горение элементов деревянной крепи на сопряжении 27-го восточного штрека с воздухоподающим ходком. В своем заключении Правительственная комиссия (председатель – Премьер-министр В. Ющенко) подчеркнула тот факт, что необходимые мероприятия по предупреждению взрывов угольной пыли в конвейерных выработках аварийного участка (зачистка почвы, обмывка или осланцевание, связанные смачивающесвязывающими составами) не выполнялись. Учитывая это, а также то, что угольная пыль пласта K^H_5 с выходом летучих веществ 29,9% является весьма взрывчатой (нижний предел взрываемости равен 48 г/м^3 , норма осланцевания – 85%), можно предположить, что взрыв пылевоздушной смеси беспрепятственно распространился по стационарной конвейерной линии в упомянутых выработках аварийного участка – подконвейерное пространство в данном случае выполняло функцию проводника взрывного горения.

31 мая 2000 г. в этой же шахте произошло самовозгорание угля в остановленной 7-й южной лаве. Начался пожар. Пожаром было застигнуто 90 горнорабочих. Все они были спасены.

Среди других крупнейших катастроф современности в Донбассе следует выделить взрывы метана и угольной пыли в шахтах “Суходольская” ПО “Краснодонуголь” (погибло 60 горняков и 4 горноспасателя) - от искрения в высоковольтном кабеле, “Молодогвардейская” ПО “Краснодонуголь” (погибло 50 горняков) – от фрикционного искрения при ударе отбойного молотка о включение колчедана, им. Бажанова ПО “Макеевуголь” (погибло 25 горняков) – от выгорания шпурового заряда ВВ в породном забое, Кировская-Западная ГХК «Макеевуголь» (пострадало 45 горняков, в т.ч. 10 человек погибло) – от электрического искрения, два взрыва в шахте им. А.Ф. Засядько – в 1999 г. при сотрясательном взрывании (пострадало 88 горняков, в том числе 54 человека погибло), в 2001 г. – от самовозгорания угля (пострадало 86 горняков, в т.ч. 50 человек погибло) и другие.

Общее число взрывов и вспышек за истекшие 100 лет с момента первого взрыва в Донбассе снизилось. Однако среднее число человеческих жертв на один взрыв остается все еще высоким.

Из-за дефицита материалов и оборудования, общей расхлябанности, пренебрежения ТБ вообще, и средствами взрывозащиты в частности, нехватки технических средств индивидуальной и коллективной защиты, а в конечном счете из-за вопиющей безответственности инженерно-технических работников всех уровней в последние годы участились аварии в шахтах. Статистика свиде-

тelleствует, что на 1 млн. т добытого угля приходится 3...4 смерти. По данным Донецкой госадминистрации на угольных шахтах Украины в год гибнет 400...500 человек, в том числе на шахтах Донетчины – более 200 человек.

По данным МакНИИ каждый 1 млн. тонн угля «стоит» жизни четырем шахтерам. Вероятность одной крупной аварии - один раз в два года; один раз в 10 дней складывается взрывоопасная ситуация в угольных шахтах.

1.2 Классификация воспламенений

По характеру протекания все аварии, связанные с воспламенением метана и угольной пыли, условно делят на две группы: вспышки и взрывы (рис 1,1)

Вспышка - это воспламенение, протекающее практически без звуковых и динамических эффектов и заметного (опасного) скачка давления.

Взрыв - это воспламенение, при котором наблюдаются динамические воздействия на подземные сооружения, коммуникации и оборудование, в том числе на значительном удалении от источника воспламенения.

Характер воспламенения зависит от следующих факторов:

а) агрессивности (мощности) источника воспламенения, например, от искровых источников возникают вспышки, а от сильных источников (фронт пламени, продукты детонации ВВ, ударная волна) возникают взрывы;

б) вида и степени взрывоопасности смеси, например, при воспламенении бедных и богатых смесей метана с воздухом возникают вспышки, а при воспламенении пылевоздушных смесей - взрывы;

в) протяженности загазированных (запыленных) выработок – воспламенение заканчивается вспышкой, если протяженность загазированной зоны невелика (несколько метров); вспышка в процессе развития вдоль выработки может перейти при определенных условиях во взрыв.

1.3 Источники воспламенений в отечественных угольных шахтах

Для возникновения вспышек и взрывов необходимо иметь две составляющие: взрывчатую газовоздушную или пылевоздушную смесь и источник ее воспламенения.

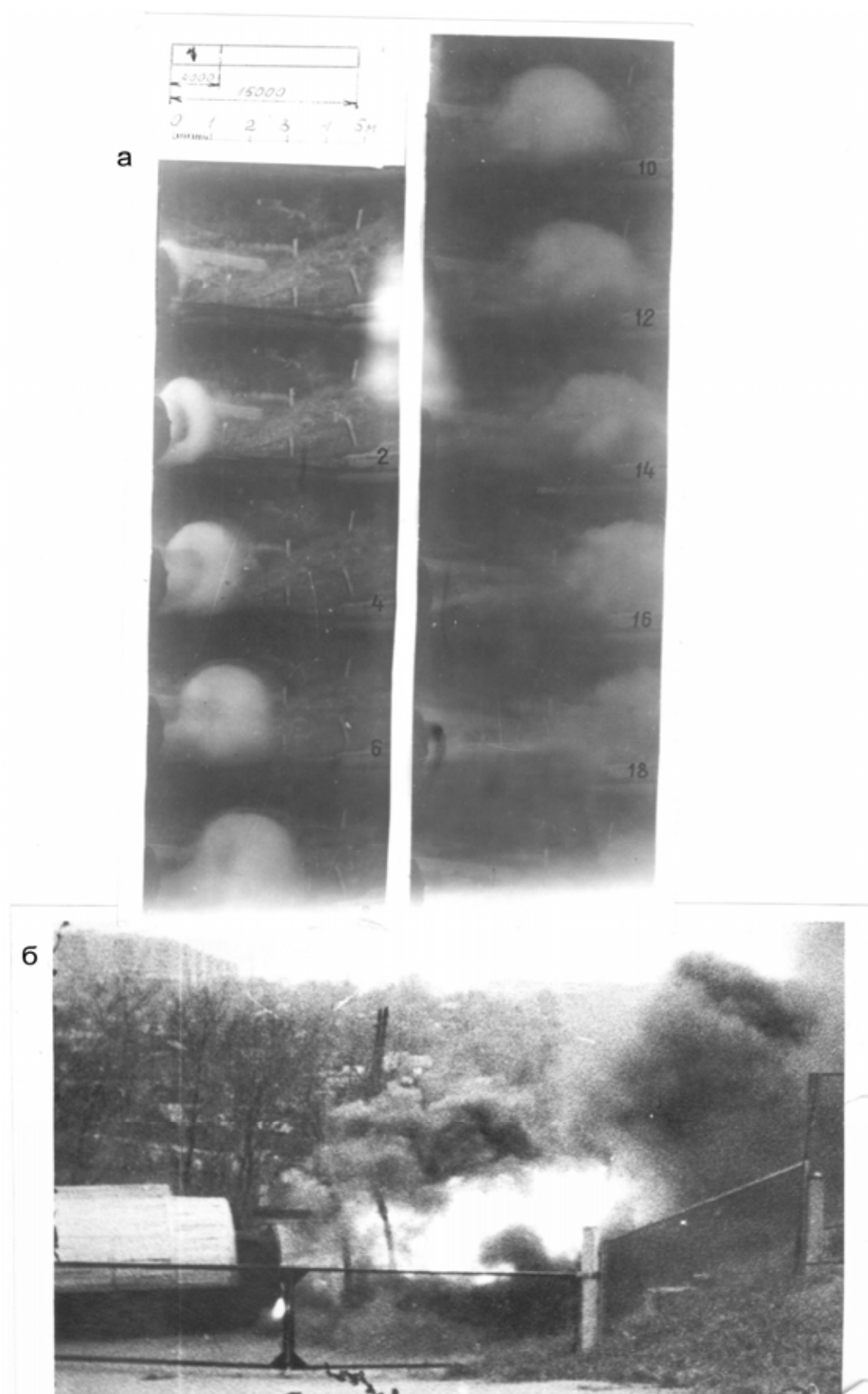


Рис. 1.1 Выброс пламени из опытного штрека МакНИИ при воспламенении метановоздушной смеси в режиме взрыва (а) и вспышки (б).

По опубликованным в отечественной литературе данным основными источниками воспламенения в шахтах являются:

- производство взрывных работ с нарушением «Единых правил безопасности при взрывных работах» – 36% от всех происшедших взрывов и вспышек (статистика, например, свидетельствует, что в шахтах Франции с 1888 по 1924 гг. при взрывных работах произошло 80% всех взрывов);
- фрикционное искрение (26%);
- электрическое искрение (18%);
- прочие источники - 20%.

Основным источником воспламенения являются взрывные работы. Так например, в период с 1975 по 1995 г. (за 20 лет) от взрывных работ в шахтах бывшего СССР произошел 21 взрыв метана и угольной пыли.

Подробно об опасности взрывных работ как причины и источника воспламенения пылегазовоздушных смесей будет рассмотрено в специальной лекции.

Второе место по опасности возникновения взрывов (вспышек) занимает фрикционное искрение. Оно возникает при соударении стали и сплавов, особенно обладающих высокой твердостью и большой шероховатостью, с кварцевыми или пиритосодержащими породами, например, крепким песчаником и колчеданом.

Воспламенение метана в результате фрикционного искрения преимущественно имели место:

- в очистных выработках - при работе добычных комбайнов во время выемки угля и при обрушении пород кровли (в механизированных очистных забоях в последние годы наметилась тенденция увеличения частоты воспламенения пылеметановоздушных смесей от фрикционного искрения);
- в тупиковых подготовительных выработках - при работе очистных и проходческих комбайнов, а также при бурении скважин.

При этом необходимо отметить, что если в очистных забоях в развитые взрывы переходит всего до 1,5% локальных вспышек метана, инициируемых фрикционными искрами при работе выемочных машин (лава редко бывает полностью загазированной), то в подготовительных выработках во взрывы метана и угольной пыли переходит до 20% вспышек, возникающих при работе проходческих комбайнов.

Из числа последних аварий наиболее показательной в этом отношении является авария, происшедшая в шахте “Карагайлинская” ПО “Киселевск-уголь”. При проведении комбайном разрезной печи по пласту “Рытвенный” произошел взрыв метана с участием угольной пыли. Было установлено, что источником воспламенения являлось фрикционное искрение рабочего органа комбайна о твердые включения в угольном массиве. В результате взрыва было разрушено 630 м горной выработки.

В качестве примера воспламенения у проходческих комбайнов может служить и авария в шахте “Чайкино” ПО “Макеевуголь”, происшедшая 16 мая 1987 г. На этой шахте метановоздушная смесь воспламенилась в забое 3-

го западного ходка при выемке угля проходческим комбайном ПК-3Р от фрикционного искрения, возникшего при трении режущих зубков о включение пирита в угольном пласте в тот момент, когда исполнительный орган комбайна приближался к середине забоя. Пламя распространилось по выработке от исполнительного органа на расстояние около 3 м, что привело к взрыву угольной пыли со всеми вытекающими отсюда катастрофическими последствиями. Погибло 36 горнорабочих.

Этот источник зафиксирован и при взрывных работах 23 июля 1978 г. в разрезной печи 1-й восточной лавы 2-го капитального уклона пл. Н8 шахты № 29 ш/у “Петровское” ПО “Донецкуголь” где произошел взрыв метана с участием угольной пыли. Вероятной причиной воспламенения метановоздушной смеси признано фрикционное искрение при трении натяжной головки и решета конвейера СП-46, отброшенных взрывом шнуровых зарядов, о включение пирита в кровле угольного пласта.

Подробно механизм воспламенения от фрикционного искрения будет рассмотрен в лекции по взрывозащите призабойного пространства выработки при работе проходческих комбайнов.

Анализ взрывов и вспышек метана от электрооборудования и кабелей (третье место среди источников воспламенения) показывает, что наибольшее количество воспламенений метановоздушной смеси произошло:

- вследствие искрения при повреждении кабелей, главным образом, гибких, питающих выемочные и проходческие машины, электросверла;
- в результате искрения при вскрытии и ремонте электрооборудования под напряжением.

Следует отметить, что температура электрической дуги и электрической искры равна 4000° С.

В шахте “Капитальная” ПО “Донецкуголь” метан воспламенился в пустоте за крепью высотой около 4 м на сопряжении ходка уклона с 8-м западным откаточным штреком. При снятии светильника, висевшего под кровлей штрека в районе пустоты, без предварительного отключения напряжения осветительной сети произошло искрение на жилах кабеля в местах присоединения их к контактным зажимам тройниковой муфты, что и послужило источником воспламенения метановоздушной смеси.

Вследствие искрообразования при коротком замыкании в гибком кабеле и повышенной концентрации метана в забое взрыв газа и пыли произошел в конвейерном штреке и фланговом уклоне общей длиной 580 м шахты “Байдаевская” ПО “Южкузбассуголь”.

Среди прочих источников воспламенения взрывчатых пылегазовых смесей в шахтах следует назвать такие, как:

- экзогенные пожары;
- искрения и горения при эксплуатации пневмооборудования;
- самовозгорание угля (эндогенные пожары);
- электростатическое искрение;
- сварочные работы;

— курение (температура открытого пламени спички равна 1200°C , тлеющей папиросы — $600\ldots 800^{\circ}\text{C}$).

Снижение добычи угля в Украине не приводит, согласно статистическим данным НИИГД, к уменьшению количества экзогенных пожаров. В Украине ежегодно происходит от 50 до 80 подземных пожаров экзогенного происхождения, из них 36,7% от токов короткого замыкания в кабельных сетях, которые наносят экономический ущерб угольным предприятиям в размере от 18,35 до 29,36 млн. грн. в год.

Существенную опасность представляют эндогенные пожары на конвейерах (загорание приводов, турбомуфт и конвейерных лент). Поэтому выработки, оборудованные конвейерным транспортом, особо опасны в отношении возникновения и распространения по ним взрывов метана и угольной пыли.

При ликвидации 840 пожаров в угольных шахтах за 30-летний период было зарегистрировано в общей сложности 200 взрывов. Почти все они произошли в шахтах, опасных по газу, и преимущественно на сверхкатегорных. Лишь в трех случаях взрывы наблюдались в негазовых шахтах:

- в одном случае имел место взрыв продуктов газификации угля при изоляции пожарного участка (ПО "Тулауголь");
- в двух других - взрывы, вызванные разложением воды, подаваемой в очаг пожара (взрывы при подаче воды в очаги горения происходили также в пяти случаях пожаров в газовых шахтах).

16 апреля 1970 г. в 10 ч. 20 мин. в шахте им. Димитрова ПО "Южскузбассуголь" произошел взрыв метана в выработанном пространстве. Шахта сверхкатегорная (относительное метановыделение составляло $57,7\text{ м}^3/\text{т.с.д.}$), опасная по пыли. Взрыв возник в результате скопления метана в зоне возникшего эндогенного пожара.

Известны взрывы при эксплуатации пневмооборудования по причине искрения и нагрева ремней вентилятора компрессора, нагрева винтов, горения промасленной ветоши и угольной пыли, горения уплотнительных прокладок и пневматических шлангов в результате высокочастотной вибрации при утечке сжатого воздуха (опыты МакНИИ показали, что в этом случае уже через 2...3 мин. появляются искры, загорания).

В частности, в результате высокочастотной вибрации отрезка вентиляционной трубы, лежащем на "шипуне" в воздушной магистрали, произошел взрыв в шахте «Восточная» ПО «Донецкуголь».

На крутом падении, где практически повсеместно применяется пневмоэнергия, неоднократно наблюдались случаи возгорания пневмошлангов в местах наличия "шипун"ов".

21 июля 1967 г. в шахте им. Мельникова треста "Лисичанскуголь" произошла вспышка метана в куполе над арочной крепью в обходной квершлага горизонта 468 м. Скопление метана произошло вследствие его выделения из выработанного пространства и плохого проветривания. Источник воспламенения - ведение электросварочных работ с нарушением ПБ: заземляющая жила была уложена на шибер, а сварочная располагалась в бункере, который имел

контакт с арочной крепью, в результате чего произошло искрение между арками.

11 апреля 1968 г. в шахте № 10 им. Артема треста “Коммунарскуголь” произошел взрыв в вентиляционном стволе. На момент аварии ствол не проветривался (проводился демонтаж буровой установки). Производились сварочные работы (электросварка). От раскаленных частиц металла воспламенился скопившийся в стволе метан. Погиб электросварщик (упал в ствол).

В 1960 г. в шахте “Краснолиманская” ПО “Красноармейскуголь” первым вариантом проекта предусматривалась отработка вначале бремсбергового поля, а затем уклонного. Были проведены центральные стволы, выработки околоствольного ствола и другие капитальные выработки. Начались работы по проходке бремсберга и ходков в направлении снизу - вверх. Шурф не был пройден. Чтобы пройти шурф, надо было пересечь пльвун. Применялся способ замораживания. Однако на замораживание пльвуна требуется много времени. Поэтому технологическая схема разработки угольного пласта была изменена: вначале необходимо было срочно подготовить к добыче угля уклонное поле, а проходку бремсберга и людских ходков прекратить. Начались работы по проходке уклонов и ходков, а прохождение части бремсберга и ходков закрестили. Один из вновь принятых на шахту проходчиков, работавших на проходке уклона, отошел из забоя уклона в заперемыченный бремсберг и закурил. Произошел взрыв метановоздушной смеси, в результате которого погибло более 40 человек.

17 августа 1960 г. в шахте 1-2 «Голубовка» треста “Кадиевуголь” произошел взрыв метана от курения на 226-ом метре ствола № 5 в насосной камере длиной 16 м, которая не проветривалась. В результате был травмирован слесарь, откачивавший воду. На поверхности был разрушен полук и на 15...20 м сдвинуло металлическую раму. Рукоятницу отбросило в сторону на 1,5...2,0 м.

1.4 Распределение воспламенений по условиям их возникновения

Для объективной оценки опасности взрывов метана и угольной пыли в шахтах, а также эффективности средств борьбы с ними МакНИИ и другие организации постоянно осуществляют сбор, анализ и статистическую обработку фактического материала по расследованию несчастных случаев, в т.ч. взрывов и вспышек на предприятиях угольной промышленности.

Результаты анализа аварий, происшедших в шахтах бывшего Минуглепрома СССР за 1965-1995 гг., выглядят следующим образом.

По характеру протекания все аварии распределяются следующим образом:

- вспышки - 75%,
- взрывы - 25%.

Это соотношение примерно сохраняется и в другие временные периоды.

Например, в течение 1967-1991 гг. в шахтах западных регионов бывшего СССР зарегистрировано 69 случаев воспламенений метановоздушной смеси, из них 16 взрывов и 53 вспышки. Кроме того, произошло 18 происшествий, свя-

занных с удушьем и отравлением людей в горных выработках. Большая их часть произошла в Украине.

По виду взрывоопасной среды, принявшей во взрыве, аварии распределяются следующим образом:

- взрыв (вспышка) метана - 71%,
- взрыв метана с участием угольной пыли - 28%,
- взрыв угольной пыли - 1%.

Следует подчеркнуть, что взрывы угольной пыли обладают разрушительной силой и сопровождаются значительным выделением вредных газов, особенно окиси углерода.

Распределение аварий по причинам загазирования:

- неудовлетворительное проветривание - 71%,
- выделение метана из отбитого (разрушенного) угля - 14%,
- наличие трещин заполненных метаном - 10%,
- прочие - 5%.

По времени образования опасной концентрации метана аварии, происшедшие при взрывных работах, распределяются:

- до взрывания зарядов - 50,0%,
- после или во время взрывания зарядов - 35,3%,
- время не установлено - 14,7%.

По местам происшествия воспламенения:

- тупиковые горные выработки - 57%,
- очистные забои - 24%,
- выработанное пространство лав и действующие общешахтные выработки - 19%.

При этом анализ показал, что особую опасность в отношении взрывов представляют протяженные тупиковые выработки, проветривание которых затруднено. Причем большинство такого рода аварий произошло в горных выработках, проводимых смешанным забоем.

На основании анализа установлено, что подавляющее число воспламенений метановоздушной смеси (88,5% вспышек и 86,6% взрывов) произошло в шахтах с относительной газообильностью свыше $15 \text{ м}^3/\text{т.с.д.}$ В тоже время характерно, что сравнительно большая доля воспламенений газа (5,8% вспышек и 11,5% взрывов) приходится на шахты с газообильностью $10 \text{ м}^3/\text{т.с.д.}$

1.5 Вредные последствия газопылевого взрыва

Вредные последствия газопылевого взрыва обусловлены динамическими, тепловыми и токсическими воздействиями.

Рассмотрим краткие сведения по всем этим факторам.

1.5.1 Динамическое воздействие

Давление во фронте ударной волны (УВ), возникающее при взрывном горении пылеметановоздушных смесей, составляет 0,8...1,0 мПа, а иногда может достигать 1,6 мПа. В экспериментальных штольнях давление взрыва достигало 2,8 мПа.

Причем на различные объекты действует не только избыточное давление но и скоростной напор потока газа, движущегося за фронтом УВ. При таких нагрузках разрушающее действие взрыва очень велико.

В качестве примера познакомимся с характером повреждения подземных коммуникаций и оборудования, а также тяжестью травм в зависимости от величины избыточного давления в УВ (табл. 1.1 и 1.2).

Таблица 1.1

Динамические воздействия взрыва

Минимальное значение избыточного давления в УВ, мПа	Скорость потока за УВ, м/с	Характер повреждения
1	2	3
0,005	11	Разрушение стекла
0,015	35	Деформация подвижных трубопроводов
0,035	70	Обрыв электрокабелей
0,040	79	Опрокидывание и поломка лебедок, вентиляторов
0,050	98	Выведение крепи из рабочего состояния (рис. 1.2)
0,10	166	Отрыв шпал от рельсов, деформация рельсов
0,14	259	Опрокидывание электровозов и проходческих машин, деформация их частей и деталей; сбрасывание с рельсов шахтных вагонеток
0,30	364	Сильная деформация железобетонной стены толщиной 25 см с образованием больших трещин

Таблица 1.2

Степень тяжести травм в зависимости от избыточного давления в УВ

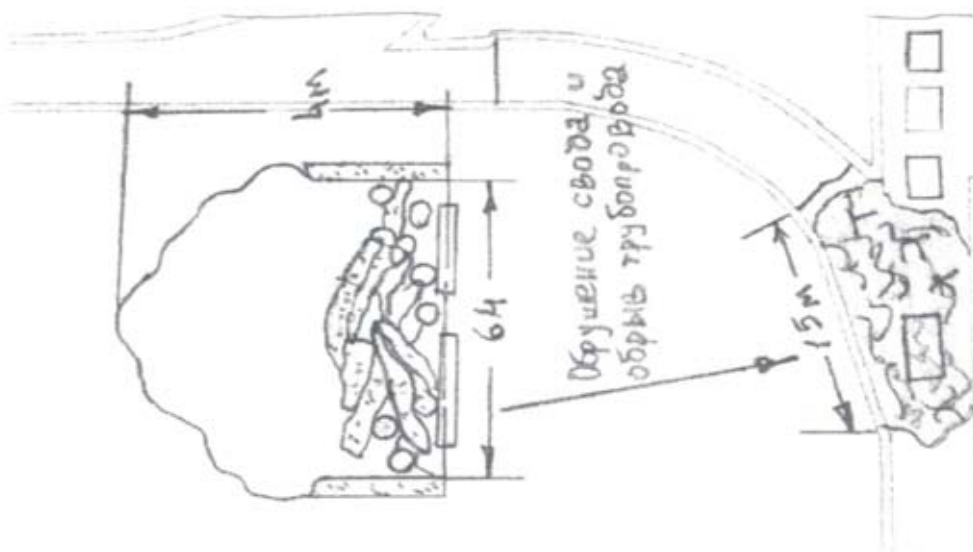
Степень тяжести травм	Избыточное давление, мПа
Легкие – ушибы, вывихи, временные повреждения слуха, легкая контузия	0,02...0,04
Средние – серьезные контузии всего организма, повреждение органов слуха, кровотечение из носа и ушей, вывихи конечностей	0,04...0,06
Тяжелые - сильные контузии всего организма, тяжелые переломы конечностей, сильные кровотечения из носа и ушей	0,06...0,10
Крайне тяжелые - возможен смертельный исход	Более 0,10

Поэтому взрыв метана и угольной пыли в шахтах травмирует людей, вызывает деформацию и разрушение крепи; разрушение, растрескивание и разрывы различного рода шахтных перемычек, дверей и перегородок; разрыв вентиляционных ставов, трубопроводов, кабелей, шлангов; перемещение и повреждение горного оборудования, машин, подвижного состава по выработкам; повреждение поверхности различных объектов, перемещающимися под действием скоростного напора предметами (кусками породы, угля, дерева и т.п.).

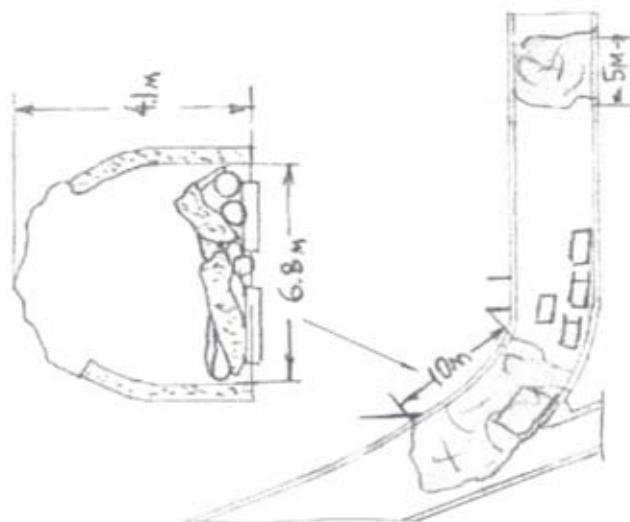
Например, взрывом МВС в шахте им. XIX партсъезда в августе 1998 г. сухая электроподстанция массой 5 т была перемещена вдоль выработки на десятки метров, а вагонетки были сплюснуты; взрывом в шахте А.А. Скочинского было разрушено 17 км горных выработок.

За зоной сжатия следует зона разряжения, в которой направление движения потока изменяется на обратное. Увеличению скорости обратного потока может способствовать конденсации паров воды в продуктах взрыва (ПВ). Обратный поток, имея высокую скорость,

Сопряжение № 5



Сопряжение № 12



Сопряжение № 11

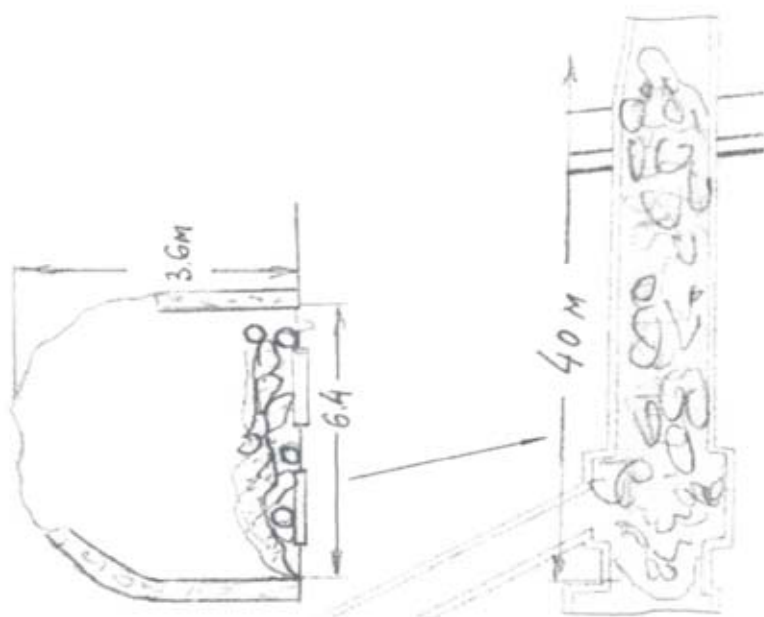


Рис 1.2 Типичные разрушения бетонной крепи околоствольных горных выработок (гор. 1080 м) при взрыве метана в шахте «Кочегарка» ПО «Артемуголь» в 1981 г.

также оказывает динамическое воздействие (“обратный удар”), но оно, как правило, значительно слабее, чем при прямом ударе.

При давлении в волне разряжения равном 0,054...0,080 мПа скорость потока может достигать 50...165 м/с. При таких скоростях газового потока возникают дополнительные разрушения с перемещением объектов воздействия в направлении, противоположном распространению взрывного горения. Поэтому могут быть следы динамического воздействия в противоположных направлениях. Направление взрыва можно проследить по динамическим проявлениям, требующим сравнительно больших затрат энергии (направление сдвига тяжелого оборудования, направление отброса элементов перемычек, характер деформации металлической крепи и т.п.). В зоне воспламенения перемещение предметов при “прямом” ударе не происходит. Поэтому скопление различных предметов в этой зоне может быть обусловлено только транспортирующим давлением газового потока при “обратном ударе”.

Вследствие нарушения требований безопасности ведения работ в 1985 г при взрывных работах в забоях подготовительных выработок произошли взрывы метана и угольной пыли в шахте № 1 ш/у “Новгородовское” ПО “Селидовуголь”, в шахте им. Г.М. Димитрова ПО “Красноармейскуголь”. В первом случае зона разрушения выработки составила 635, а во втором - 1090 м.

1.5.2 Тепловое воздействие

Температура продуктов взрыва метана в неограниченном объеме достигает 1875°C , а внутри замкнутого объема $2150...2650^{\circ}\text{C}$.

Температура фронта пламени взрыва может достигать $2000...2500^{\circ}\text{C}$.

Интенсивность теплового воздействия взрыва зависит не только от температуры пламени и продуктов взрыва, но и от времени ее действия (скорости пламени). С ускорением пламени интенсивность термического воздействия уменьшается и при высоких скоростях горения видимые признаки горения могут отсутствовать или в явной форме не прослеживаться.

Более чувствительными к термическому воздействию являются волокнистые края разорванной бумаги или ткани, ворсинки текстильных материалов, древесные волокна и т.д. Исследование образцов этих материалов под микроскопом позволяет более точно установить признаки воздействия на них высокой температуры.

Наиболее четко следы теплового воздействия взрыва бывают выражены на газетной и оберточной бумаге (бумага обгорает, становится хрупкой), на изоляции провода или кабеля (изоляция обугливается, рассыпается), на полиэтилене (сгорает на 70%, оставшаяся часть вся расплавляется, деформируется), на конвейерной ленте (концы прокладок оплавляются до 11 мм, лента чернеет), на материале вентиляционных труб (поверхность сгорает, края оплавляются). Дерево под действием теплового воздействия высыхает, края неровностей обгорают, образуются потеки смол. Брезент спецодежды чернеет, могут быть жел-

тые подпалены, края и ворсинки на поверхности обгорают. Лак “Кузбасс” на резиновой поверхности обгорает на 50%, а оставшийся лак теряет блеск.

При взрывах метана особенно сильно сгорают предметы вблизи источника воспламенения и на расстоянии до 10...20 диаметров выработки от него. У предметов, находящихся в зоне развитого взрывного горения на расстоянии 30...60 диаметров от источника, поверхность сгорает только на стороне, обращенной к источнику. На теневой стороне около 50% поверхности остается не поврежденной. На расстоянии более 65 диаметров от источника воспламенения и далее в зоне выброса пламени на поверхности предметов наблюдаются незначительные следы действия высокой температуры.

Особенно сильное сгорание различных предметов наблюдается при воспламенении скоплений метана с концентрацией вблизи верхнего предела взрываемости. В этих случаях длина участков выработки с признаками горения зависит от протяженности местных скоплений и может быть весьма значительной. При горении переобогащенных смесей наряду с отмеченными выше признаками теплового воздействия взрыва встречаются отложения копоти.

Ожоги наблюдаются у пострадавших в зонах воспламенения, развитого взрывного горения и выброса пламени. Тяжесть ожоговых травм снижается по мере удаления от источника воспламенения в направлении движения фронта пламени.

1.5.3 Токсическое воздействие

Выражается в отравлении окисью углерода (угарным газом).

Концентрация окиси углерода в ПВ может достигать 4...8%. В тоже время при концентрации окиси углерода 1% человек теряет сознание после нескольких вдохов, а через 1...2 мин. наступает смерть. Отравление окисью углерода обычно отмечают в зонах воспламенения, развитого взрывного горения и выброса пламени.

Примером может служить следующий факт.

Еще молодой горный инженер академик А.М. Терпигорев был членом комиссии по расследования аварии на шахте 4 бис «Юзовка» в 1908 г. “Взрыв сопровождался - вспоминает А.М. Терпигорев - огромным обвалом. Однако большинство рабочих уцелели и, пытаясь спастись, бросились бежать на более высокие места, не зная, что именно там их подстерегала смерть. Образовавшаяся во время взрыва окись углерода (угарный газ) также тянулась вверх. Окись углерода, как известно, не имеет ни цвета, ни запаха, и рабочие поэтому не могли заметить, что они бегут в облако ядовитого газа. В результате весь путь, по которому они пытались спастись, оказался буквально усеян трупами”.

Отравляющее действие окиси углерода при взрывах усиливается в связи с резким снижением содержания кислорода, концентрация которого в ПВ может снижаться до 1...3% (табл. 1.3).

Таблица 1.3

Степень токсичного воздействия при снижении содержания кислорода в атмосфере.

Содержание O ₂ , %	Состояние пострадавшего
1	2
16...12%	Учащение дыхания и сердцебиения, одышка, головная боль, нарушение зрения, тошнота, шум в ушах
10...6%	Тяжелая одышка, слабость, синюшность кожных покровов, повышение температуры тела, судороги, потеря сознания
ниже 6%	Судороги, потеря дыхания и через 6...8 мин. остановка сердечной деятельности

Особую опасность представляет так называемый “мертвый воздух”, состоящий из азота и углекислого газа. “Мертвый воздух” плохо проветривается, т.к. тяжелее воздуха, не обнаруживается заранее по запаху и другим признакам. Он обладает коварным свойством мгновенного действия - от одного вдоха парализует дыхательные функции, человек теряет сознание и падает. В результате возникали случаи удушья 2-х, 3-х человек последовательно в одной и той же выработке при попытке спасти предыдущего пострадавшего, не предполагая существующей опасности.

Контрольные вопросы

1. Что такое взрыв?
2. Что такое вспышка?
3. Сможет ли вспышка перейти во взрыв? Если “да”, то при каких условиях?
4. Перечислите основные источники воспламенения метана и угольной пыли в шахтах.
5. Перечислите прочие источники воспламенения.
6. Когда и где произошел первый взрыв в Донбассе? Каковы его последствия?
7. Каковы обстоятельства самых крупных в мировой истории горного дела катастроф?
8. Каковы обстоятельства крупнейших катастроф Донбасса?
9. Перечислите крупнейшие взрывы современности.
10. Перечислите вредные последствия газопылевого взрыва.
11. Дайте общую характеристику опасности динамического воздействия.
12. Дайте общую характеристику термического воздействия взрыва.
13. Дайте общую характеристику токсического взрыва.
14. Как распределяются вспышки и взрывы по виду, времени образования взрывоопасной среды?
15. Как распределяются вспышки и взрывы по причинам загазирования?
16. Что такое «взрывозащита»?

Лекция № 2. Особенности развития воспламенения в горных выработках

2.1 Границы проявления опасных последствий воспламенения в выработках

Рассмотрим условия и границы проявления опасных факторов в горной выработке, по которой распространяется взрыв (вспышка) газа или пыли.

Для простоты будем считать, что определенная часть горной выработки, примыкающая к забою, полностью заполнена взрывчатой средой (метановоздушной или метанопылевоздушной смесью), степень взрывоопасности которой постоянна по длине выработки. Остальная часть выработки, где нет взрывоопасной смеси, заполнена инертным газом, т.е. воздухом.

При осмотре выработок и анализе признаков динамического и теплового воздействия необходимо учитывать следующую примерную схему протекания взрыва метановоздушной (метанопылевоздушной или пылевоздушной) смеси. После воспламенения взрывоопасной смеси слабым источником возникает фронт пламени, скорость распространения которого по выработке не превышает в первоначальный момент нескольких метров в секунду. Продукты горения, наподобие поршня, сжимают и приводят в движение прилегающие к фронту пламени несгоревшие слои взрывоопасной смеси. В результате этого впереди фронта пламени, на расстоянии 10...20 диаметров выработки от места воспламенения, формируется ударная волна (УВ), вслед за которой движется фронт пламени. Ударная волна турбулирует исходную смесь, что вызывает ускорение движения фронта пламени. Процесс ускорения горения заканчивается развитым нестационарным взрывным горением со скоростями от нескольких десятков, до нескольких сотен метров в секунду. После прекращения горения взрывоопасной смеси происходит разлет высокотемпературных продуктов горения (выброс пламени). Расстояние, на котором наблюдается разлет, определяется конечной температурой продуктов взрыва и зависит от скорости горения, объема прореагировавшей взрывоопасной смеси и других факторов. Далее по выработкам распространяется только воздушная УВ и охлажденные продукты взрыва (ПВ).

С определенными упрощениями горную выработку, по которой распространяется взрыв газа или пыли, возникший от слабого источника воспламенения, можно условно разделить, в зависимости от проявляемых при этом опасных факторов, на следующие зоны (рис.2.1).

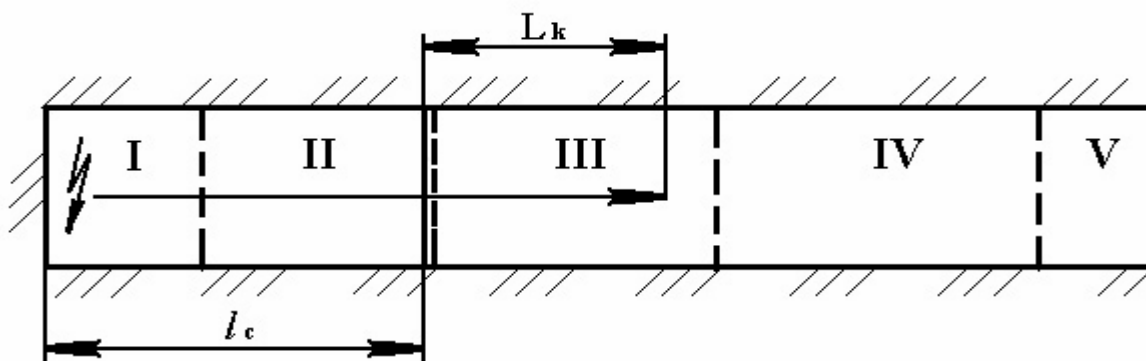


Рис. 2.1 Опасные зоны, возникающие в горной выработке при развитии взрыва

I – зона воспламенения;

II – зона взрывного горения;

III – зона выброса пламени;

IV – зона распространения воздушной ударной волны;

V – зона распространения продуктов взрыва;

l_c – протяженность призабойного участка выработки, заполненного взрывчатой смесью

а) зона I — зона воспламенения.

В этой зоне происходит воспламенение взрывоопасной смеси и рост скорости горения от нескольких метров до нескольких десятков метров в секунду.

Процесс протекает по следующей схеме. Процесс горения, начавшегося у источника воспламенения, ускоряется по мере распространения вдоль выработки. Ускорение происходит за счет неустойчивости фронта горения взрывчатых систем в выработках (каналах большого диаметра), а также за счет турбулизации газового потока.

Граница располагается в пределах взрывоопасной смеси. Ориентировочная длина зоны возникновения и ускорения горения при слабом источнике воспламенения составляет 10...20 диаметров выработки.

Основными опасными факторами в этой зоне являются:

- высокая температура (пламя взрыва),
- наличие окиси углерода,
- снижение концентрации кислорода.

Процесс ускорения горения заканчивается переходом к режиму нестационарного горения со скоростью от нескольких десятков метров до сотен метров в секунду, называемое обычно взрывным горением.

б) зона II — зона взрывного горения.

В этой зоне происходит формирование ударной волны на границе зоны.

Ударная волна, распространяясь по взрывчатой среде со скоростью большей, чем скорость фронта пламени, является дополнительным турбулизатором газового потока и влияет на скорость и газодинамику взрывного горения, увеличивая его нестационарность.

Взрывное горение заканчивается, когда “выгорит” вся взрывоопасная смесь. Однако конец второй зоны, как правило, распространяется дальше, чем находилась граница взрывоопасных смесей до взрыва, т.к. УВ и другие воз-

мушения вовлекают исходную смесь в движение до подхода фронта пламени. Ориентировочно “удлинение” II зоны составляет до 20% от длины участка, которую занимала взрывоопасная смесь до взрыва.

Опасными факторами в этой зоне являются те же, что и в I-ой зоне, и УВ.

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.

в) зона III — зона выброса пламени за пределы загазированного (запыленного) участка выработки.

Образуется в результате разлета высокотемпературных продуктов взрыва (объем продуктов сгорания 1 м^3 метановоздушной смеси равен $10,52\text{ м}^3$).

Длина этой зоны, т.е. участка выработки, в пределах которого отсутствуют ожоговые травмы и не прослеживается термическое воздействие на поверхности предметов, зависит от объема взрывающей среды, принимающей участие при взрыве, диаметра выработки, средней скорости взрывного горения и других факторов. Принципы ее расчета будут рассмотрены в данной лекции.

Опасные факторы те же, что и во II-ой зоне.

г) зона IV — зона распространения воздушной УВ.

Длина этой зоны, т.е. зоны, в пределах которой УВ сохраняет поражающее действие, зависит от объема исходной смеси и ряда других факторов. Оценить размер этой зоны в общем виде невозможно.

Опасными факторами являются УВ и окись углерода.

д) зона V — зона распространения ПВ.

Зона V характеризуется тем, что после затухания возмущений, вызванных взрывом, в выработках происходит перенос продуктов горения вентиляционными потоками.

К этой зоне условно относят выработки, в которых избыточное давление УВ фактически не проявляется и опасным фактором является только окись углерода, выносимая вентиляционными потоками.

Положение V зоны зависит от направления движения и расхода воздуха в выработках после взрыва.

В реальных условиях взрыв газа или пыли протекает значительно сложнее. Во взрыве может принимать участие отложившаяся угольная пыль, которая переходит во взвешенное состояние под действием УВ взрыва метана. В этом случае взрыв может распространяться на большие расстояния независимо от длины загазированного участка, вызывая катастрофические разрушения на пути своего следования.

Так, например, при взрыве в 1980 г. в шахте “Горская” ПО “Первомайск-уголь” следы воздействия пламени были обнаружены в очистных и подготовительных выработках на расстоянии 5000 м от места возникновения воспламенения.

Кроме того, на практике загазирование не является равномерным. Возможно образование слоевых скоплений метана самой различной протяженности, могут иметь место суфлярные выделения метана и т.п. Например, при наличии слоевых скоплений метана в куполах или под кровлей выработки длина зоны воспламенения (зоны I) может превышать указанные выше пределы, т.е. 10...20 диаметров выработки.

Если протяженность загазированного участка выработки невелика (несколько метров), то воспламенение метана заканчивается не взрывом, а вспышкой. В этом случае горение метана не переходит во взрывное и не возникает заметного (опасного) скачка давления.

При вспышке метана можно считать, что опасной зоной будет только зона воспламенения, к которой примыкает небольшая по протяженности зона разлета продуктов горения (выброса пламени). Опасными факторами здесь являются пламя взрыва, снижение концентрации кислорода и наличие оксида углерода в продуктах горения метана.

Это означает, что взрыв отличается от вспышки тем, что при вспышке отсутствуют зоны взрывного горения и распространения воздушной УВ, причем, последняя не фигурирует среди опасных факторов.

2.2 Критическая длина зоны разлета высокотемпературных продуктов взрыва

2.2.1 Общие понятия

Перед решением данной задачи введем понятие буферной (пламегасящей) среды - это инертная (невзрывчатая) среда, находящаяся в выработке между очагом воспламенения и взрывоопасной смесью (рис. 2.2).

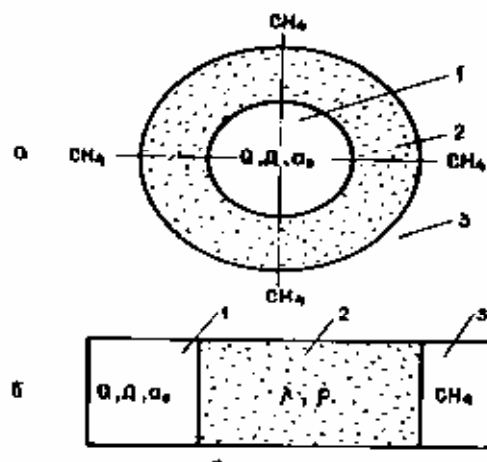


Рис. 2.3 Принципові схеми проявлення критичної зони розльоту продуктів

вибуху:

а - сферичний вибух (вибух в оболочці);

б - вибух у каналі (виробці):

- 1- полум'я (високотемпературні продукти) вибуху;
- 2- буферне середовище;
- 3- Вибухова метано-, або пилоповітряна суміш.

Как уже подчеркивалось, после окончания взрывного горения продолжается разлет вдоль выработки раскаленных продуктов взрыва, которые на определенном расстоянии от места взрыва сохраняют высокую температуру.

Опасность этого свойства горящих газозвоздушных смесей состоит в том, что на пути движущихся по выработке с инертной (буферной) средой раскаленных продуктов взрыва могут встретиться местные и слоевые скопления метана. В этом случае они воспламеняются и взрыв начнет с новой силой развиваться по выработкам шахты, вовлекая в процесс горения при определенных условиях угольную пыль.

Наиболее четким подтверждением этого может служить взрыв МВС, происшедший 1 сентября 1993 г. в 6ч 30мин в 6-м западном конвейерном штреке заперевальской части пл. Н10 на ш. "Глубокая" ш/у "Донбасс" ПО "Донецк-уголь".

При сотрясательном взрывании произошел внезапный выброс угля и газа (было выброшено 800 т угля и 47 тыс. кубометров метана), а затем в течение 59 с последовало три последовательных взрыва МВС (время зафиксировано на магнитофонной ленте).

Вот как развивалась эта уникальная по своим обстоятельствам авария (рис.2.3).

В процессе взрывания произошло выгорание шпурового заряда аммонита Т-19, от которого воспламенилась МВС у забоя выработки. Возникший очаг воспламенения под действием выброшенного потока газа (скорость порядка 10 м/с) или горной массы (скорость 4,3...8,7 м/с) был перемещен на 58 м от забоя, т.е. на длину призабойного участка выработки, заполненного выброшенным углем (общая длина тупиковой части штрека составляла 100 м). Этот очаг в течении определенного времени поддерживался в зоне действия вентиляционной струи перед откосом выброшенной угольной массы, т.е. на конце ненарушенного вентиляционного става ВМП, перемещаясь, по мере разбавления концентрации метана, в направлении лавы. Когда концентрация метана во всем объеме тупиковой части выработки стала взрывчатой, вспышка метана перешла во взрыв МВС (через 23с после внезапного выброса). Раскаленные продукты

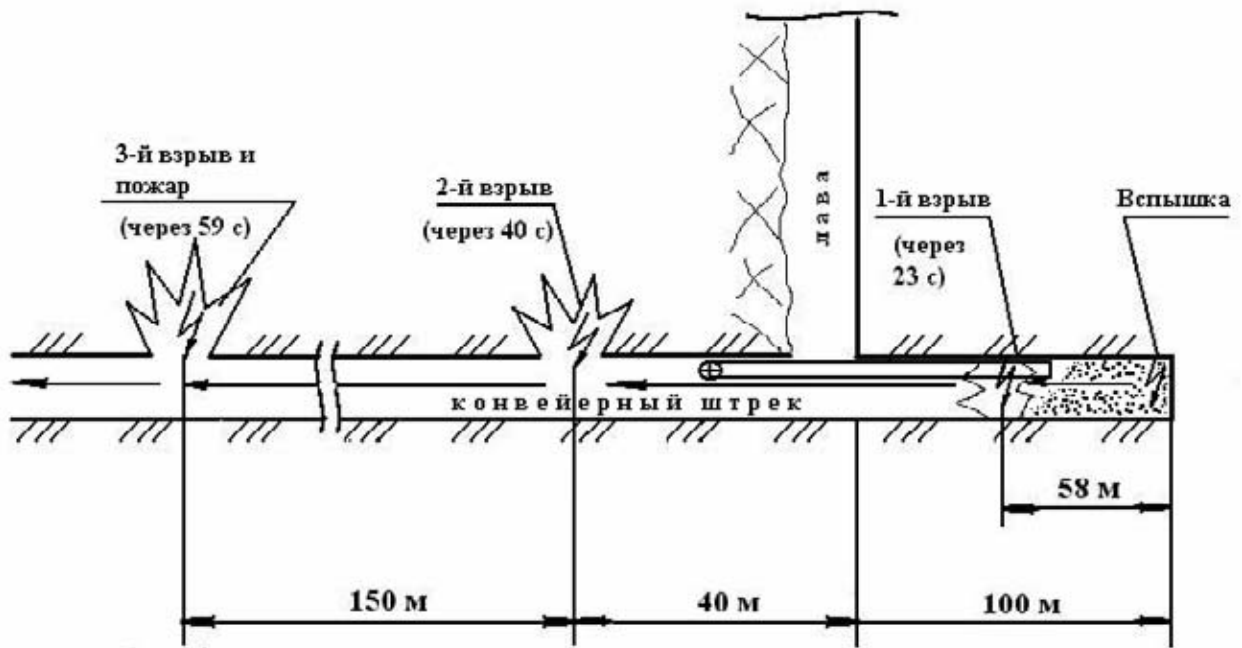


Рис. 2.3. Схема розвитку спалахнувшої метаноповітряної суміші при вибуху у 6-му західному конвеєрному штреку пласта h_{10} в шахті "Глибока" ш/у "Донбас" ВО "Донецьквугілля".

взрива распространились по штреку за очистной забой навстречу свежей вентиляционной струи и через 17 с после взрыва воспламенили местное скопление метана в боковой полости от ранее происшедшего внезапного выброса на расстоянии 40 м от лавы (в районе вентилятора местного проветривания и распредпункта). Этот второй взрыв разрушил рабочий и резервные вентиляторы и электрооборудование распредпункта. Через 19 с после второго взрыва произошло воспламенение МВС в аналогичной техногенной полости, отстоящей от первой на расстоянии 150 м. Из-за высокой концентрации метана воспламенение в этой полости послужило причиной пожара (загорелись деревянные затяжки и костры в глубине выработанного пространства).

Минимальная протяженность буферной среды, через которую расширяющиеся продукты взрыва не способны воспламенить взрывчатую газопылевоздушную смесь, называется критической дальностью разлета высокотемпературных продуктов взрыва (L_k). (см. рис. 2.1).

Минимальная толщина предохранительной (инертной) оболочки (преграды), через которую взрыв свободного подвешенного заряда ВВ не воспламеняет взрывчатую газопылевоздушную смесь, называется критическим радиусом (R_k) или критической толщиной оболочки (δ_k).

2.2.2 Определяющие параметры и критерии

Задача определения линейного размера критической дальности разлета продуктов взрыва фактически сводится к определению минимальной длины буферной среды, при прохождении которой расширяющиеся продукты взрыва

охлаждаются до критической температуры (T_k), т.е. температуры вспышки газопылевоздушной смеси.

По физическому смыслу этот параметр есть отношение минимального объема пламегасящей среды, обеспечивающего охлаждение продуктов взрыва до заданной температуры, к площади поверхности фронта пламени.

Длина зоны разлета будет определяться двумя независимыми комбинациями энергетических и физических параметров, а именно:

— комбинацией параметров, характеризующей воспламеняющую опасность (агрессивность) взрыва метановоздушных и пылевоздушных смесей;

— комбинацией параметров, характеризующей пламегасящую эффективность буферной среды, располагаемой на пути распространения пламени.

Теория свидетельствует, что воспламеняющую агрессивность взрыва газовой и пылевой смеси характеризуют два независимых параметра: теплота взрыва (Q) и скорость распространения пламени взрыва (U_c).

Поэтому в качестве критерия воспламеняющей агрессивности взрыва принята тепловая мощность взрыва (Q_t), т.е. количество теплоты взрыва, выделяемой в единицу времени.

$$Q_t = Q/t_c = (V_c \cdot q \cdot U_c)/l_c = S \cdot q \cdot U_c, \text{ Дж/с}, \quad (2.1)$$

где Q — теплота взрыва, Дж;

V_c — объем воспламенившейся смеси, м^3 ;

U_c — скорость развития пламени взрыва, м/с ;

l_c — длина тупикового участка выработки с воспламенившейся смесью;

S — площадь поперечного сечения выработки, м^2 ;

q — удельная теплота взрыва (для стехиометрической метановоздушной смеси $q = 3,381 \cdot 10^6 \text{ Дж/м}^3$, для пылевоздушной смеси с концентрацией пыли равной 300 г/м^3 $q = 9,83 \cdot 10^6 \text{ Дж/м}^3$);

t_c — время развития очага воспламенения (взрыва) до встречи с пламегасящей средой, с.

Один из параметров, определяющий вторую комбинацию, должен характеризовать запирающую способность (инерционность) буферной среды. Исходя из физической сути процесса, таким параметром является начальная плотность среды (ρ_{bc}).

Другие параметры второй комбинации должны определять процесс теплообмена между буферной средой и высокотемпературными продуктами взрыва.

В настоящее время нет законченной теории сложного процесса теплообмена между газовыми и твердыми компонентами потока газовой взвеси. По-видимому, решающими здесь являются два механизма переноса тепла — теплопроводность и конвекция, причем кинетика каждого из этих процессов описывается своими уравнениями, не имеющими строгого решения, что исключает возможность нахождения зоны разлета только аналитическим путем.

Поэтому было найдено модельно-эмпирическое решение, при котором в качестве 2-го параметра, определяющего теплофизические (локализирующие) свойства буферной среды, было принято удельное теплопоглощение (λ_{bc}), характеризующие верхнее значение теплопоглощающих свойств вещества.

Пламегасящую эффективность буферной среды характеризует ее плотность и удельное теплопоглощение.

Исходя из этого в качестве комплексного критерия пламегасящей эффективности буферной среды была принята энергоносность буферной среды (J_q), определяющая величину тепловой мощности, которая расходуется при прохождении тепловым потоком единичной площадки буферной среды.

$$J_q = \lambda_{\text{бс}}^{3/2} * \rho_{\text{бс}}, \text{ Дж/с*м}^2, \quad (2.2)$$

где $\lambda_{\text{бс}}$ — удельное теплопоглощение буферной среды, Дж/кг;

$\rho_{\text{бс}}$ — начальная плотность буферной среды, кг/м³.

Учитывая, что высокотемпературные продукты взрыва расходуют свою энергию не только при теплообмене с буферной средой, но и при расширении, в искомую аналитическую зависимость L был введен безразмерный критерий a_0 , определяющий долю тепловой мощности, расходуемой за счет теплообмена с буферной средой, т.е. долю энергии, которую необходимо отобрать в единицу времени у продуктов взрыва в процессе теплообмена с буферной средой, чтобы предотвратить воспламенение метанопылевоздушных смесей.

2.2.3 Метод определения

Аналитическая связь между определяющими процесс разлета продуктов взрыва критериями была найдена методом размерности:

$$L_k = \alpha_0 * [(a_0 * Q_t) / J_q]^{1/2}, \text{ м}, \quad (2.3)$$

где α_0 — безразмерный переводной коэффициент, корректирующий относительное различие тепловых потоков через единицу поверхности буферной среды в свободном и замкнутом пространствах.

Коэффициент, α_0 показывает, в основном, во сколько раз поверхность переднего фронта сферического пламени превышает поверхность переднего фронта пламени, распространяющегося вдоль выработки.

Влияние стенок незначительно. В частности, известно, что при увеличении теплопроводности стенок трубы в 460 раз увеличение предельного диаметра, при котором становится невозможным распространение пламени, происходило только на 2,6%.

Для упрощения расчетов в качестве второй комбинации параметров введен относительный показатель теплофизической эффективности буферных сред (эквивалент энергоносности) (η).

Приняв в качестве эталона воздух преобразуем зависимость (2.3) к виду

$$L_k = \alpha_0 (a_0 / J_{\text{qv}})^{1/2} * (Q_t / \eta)^{1/2}, \text{ м}, \quad (2.4)$$

где J_{qv} — энергоносность воздуха.

При $T_k = 650^\circ \text{C}$ $J_{\text{qv}} = 363,7 * 10^6 \text{ Дж/с*м}^2$

Параметр η может быть определен для любой стадии гашения

$$\eta = J_q / J_{\text{qv}} = 2,8 * 10^{-9} * \lambda_{\text{бс}}^{3/2} * \rho_{\text{бс}} \quad (2.5)$$

Для многофазных буферных сред параметры $\lambda_{\text{бс}}$ и $\rho_{\text{бс}}$ рассчитывают с учетом весовых долей отдельных компонентов.

Если буферная среда представляет собой дисперсную систему, то параметр η рассчитывают по следующей эмпирической формуле:

$$\eta = 10,8 \cdot 10^{-9} \cdot C^{1,07} \cdot \lambda^{1,40} + 1,11, \quad (2.6)$$

где C – концентрация распыленного в выработке вещества (флегматизатора, ингибитора, пламягасителя), кг/м^3 ;

λ – удельное теплопоглощение вещества, Дж/кг .

Удельное теплопоглощение веществ рассчитывают общепринятыми методами или определяют экспериментально.

Теоретическое рассмотрение процесса расширения раскаленных продуктов взрыва, а также опыты по воспламенению взрывоопасных смесей через воздушную преграду показали, что при взрыве газопылевоздушной смесей $a_0 = 0,583$ (для сравнения для ВВ $a_{0\text{ВВ}} = 0,0091$). Полученные численные значения a_0 показывают, что для гашения (до критической температуры) продуктов взрыва метано-воздушных и пылевоздушных смесей необходимо отбирать в единицу времени 58,3% энергии, а в случае взрыва ВВ — всего 0,9%.

Единственным неизвестным параметром в формуле для определения L_k (2.4) остается коэффициент α_0 .

Его значение для условий распространения пламени в горной выработке установлено путем математической обработки экспериментальных данных при взрывах метано- и пылевоздушных смесей различной мощности ($l = 4 \dots 240 \text{ м}$, $u_c = 3,9 \dots 850 \text{ м/с}$, $Q_t/\eta = 0,34 \cdot 10^8 - 666,4 \cdot 10^8 \text{ Дж/с}$) в опытных штольнях и штреках сечением $2,5 \dots 9,5 \text{ м}^2$. Установлено (коэффициент корреляции равен $0,991 \pm 0,003$), что $a_0 = 15,32$.

Таким образом аналитическая зависимость критической длины зоны разлета высокотемпературных продуктов взрыва газопылевоздушных смесей в горной выработке постоянного по длине поперечного сечения от определяющих ее параметров установлено экспериментально и имеет следующий вид:

$$L_k = 6,13 \cdot 10^{-4} \cdot (Q_t/\eta)^{1/2}, \text{ м} \quad (2.7)$$

Очевидно, при локализации взрыва в воздухе формула (2.7) примет вид:

$$L_k = 6,13 \cdot 10^{-4} \cdot (Q_t)^{1/2}, \text{ м} \quad (2.8)$$

Расчеты показали, а эксперименты подтвердили, что критическая длина зоны выброса пламени может составлять от 1,3 до 9,0 длин загазированного участка выработки в зависимости от условий взрывания.

2.3 Скорость движения пламени в выработке

Скорость движения пламени вдоль выработки является основной характеристикой процесса взрыва.

В зависимости от внешних условий поджигания и энергии источника воспламенения горение смесей метана и угольной пыли с воздухом может происходить в различных скоростных режимах — от нормальной скорости до детонации.

Нормальная скорость определяет такое развитие процесса горения, при котором распространение пламени происходит посредством теплопроводности и диффузии активных промежуточных продуктов реакции в исходную смесь.

Нормальная скорость постоянна для определенного горючего состава, а для стехиометрической метановоздушной смеси равна 0,37...0,39 м/с.

При определенных условиях нормальное горение горючей смеси в результате самоускорения может перейти в детонацию.

Возбуждение химической реакции при детонации качественно отличается от нормального горения, т.к. осуществляется, с помощью УВ, представляющей собой поверхность, на которой скачкообразно изменяется состояние среды (скорость, давление, плотность и температура).

Расчетная скорость детонации стехиометрической метановоздушной смеси равна 1818 м/с, экспериментально замеренные ее значения (на расстоянии 140...60 м от источника воспламенения) находятся в пределах 1540...1700 м/с при величине давления 2,2 мПа. Аэровзвеси из угольной пыли с высокой концентрацией летучих веществ могут детонировать со скоростями 1600...1875 м/с.

Между режимом нормального горения и детонации газопылевоздушных смесей возможны, в отличие от химического разложения ВВ, любые промежуточные скорости: от нескольких до сотен метров в секунду.

Одним из факторов, ускоряющих процесс горения, является турбулентность. Турбулентность в зоне горения способствует повышению переноса тепла и вещества и увеличивает тем самым поверхность горения, что проявляется в повышении скорости распространения пламени по сравнению с нормальной.

Теория нестационарного распространения пламени в трубах, пригодная для инженерных расчетов, пока не разработана. В тоже время к настоящему времени накоплен значительный экспериментальный материал, содержащий результаты исследований взрывного горения двойных и тройных смесей.

Взрывные процессы изучались в металлических цилиндрических трубах (опытных штреках) диаметром 1,5...2,0 м и в опытных подземных штольнях сечением до 9,5 м². Полученные данные свидетельствуют о нестационарном характере взрывного горения метановоздушных и пылевоздушных смесей.

Ввиду нестационарного характера горения максимальные скорости распространения взрыва в несколько раз превышают минимальные. Так, например, при воспламенении стехиометрической метановоздушной смеси алюминиево-бариевым зажигателем в штольне ВНИИГД "Гранит" максимальная скорость пламени на некоторых участках равнялась 600 м/с, минимальная - 13 м/с, а средняя - 231 м/с.

Поэтому при решении различных технологических задач наиболее показательной является средняя скорость (или среднее время) распространения пламени на участке выработки заданной длины (табл. 2.1).

Таблица 2.1

Развитие взрыва при различных источниках воспламенения в металлической штольне сечением $2,5 \text{ м}^2$.

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 ³	0,5	8,0	15,5	20,5	28,0
1	2	3	4	5	6	7	8
Открытый заряд аммонита ПЖВ-20 массой 150 г	9,5	—	0,002	0,028	0,050	0,073	0,112
Электродетонатор	9,5	—	0,066	0,153	0,184	0,225	0,271
Алюминиево-Бариевый зажигатель	9,5	—	0,059	0,323	0,387	0,443	0,558
Открытый заряд аммонита ПЖВ-20 массой 150 г	9,5	300	0,032	—	0,152	0,186	0,237
Электродетонатор	9,5	300	—	0,140	0,179	0,203	0,246
Алюминиево-бариевый зажигатель	9,5	300	0,076	0,168	0,187	0,218	0,258
Тоже	15	—	0,110	0,890	1,170	1,350	—

Из табл. 2.1 следует, что пламя взрыва метановоздушной смеси может пройти призабойный участок выработки длиной 8 м за минимально возможное время равное 28 мс, а длиной 20,5 м — за 73 мс при средней скорости равной 295 и 281 м/с соответственно.

В призабойном участке выработки протяженностью 30 м средняя скорость развития пламени равна 25...50 м/с при поджигании смеси искровым источником воспламенения и 250...300 м/с при поджигании смеси детонирующим зарядом ВВ. В то же время на расстоянии свыше 50...75 м (а в некоторых условиях 10...15 м) от точки воспламенения скорость горения уже мало зависит от мощности источника воспламенения.

Задача 2.1

Определить критическую длину зоны разлета (в воздухе) раскаленных продуктов взрыва стехиометрической метановоздушной смеси в опытном штреке (диаметр 1,8 м, $S = 2,5 \text{ м}^2$). Загазирована только взрывная камера ($l_c = 4 \text{ м}$) Источники воспламенения:

- а) электровоспламенитель ЭД ($U_c = 15 \text{ м/с}$);
- б) взрыв 0,3 кг аммонита Т-19 ($U_c = 120 \text{ м/с}$).

Источники располагались на расстоянии 0,3 м от днища штрека.

Решение

Определяем объем воспламенившейся смеси

$$V_c = l_c \cdot S = 4 \cdot 2,5 = 10 \text{ м}^3$$

Задача 2.1.1

Определяем тепловую мощность взрыва по (2.1)

$$Q_t = (V_c \cdot q_{\text{сн}_4} \cdot U_c) / l_c = (10 \cdot 3,381 \cdot 10^6 \cdot 15) / 4 = 1,27 \cdot 10^8 \text{ Дж/с}$$

Определяем критическую длину зоны разлета. Так как гашение продуктов взрыва осуществляется в воздухе, то $\eta = 1$. Тогда воспользуемся формулой (2.8)

$$L_k = 6,13 \cdot 10^{-4} \cdot (1,27 \cdot 10^8)^{1/2} = 6,9 \text{ м}$$

Следовательно, пламя распространится на расстояние равное 6,9 м, считая от взрывной камеры.

Задача 2.1.2

Определяем тепловую мощность взрыва по (2.1)

$$Q_t = (10 \cdot 3,381 \cdot 10^6 \cdot 120) / 4 = 10,14 \cdot 10^8 \text{ Дж/с}$$

Определяем длину зоны разлета по (2.8)

$$L_k = 6,13 \cdot 10^{-4} \cdot (10,14 \cdot 10^8)^{1/2} = 19,5 \text{ м}$$

Следовательно, пламя распространится на 19,5 м от взрывной камеры и выйдет из штрека (длина штрека 15 м) на 8,5 м, что подтверждают эксперименты.

Контрольные вопросы и задания

- 1 Назовите опасные зоны развития взрыва вдоль выработки.
- 2 Дайте характеристику зоны воспламенения.
- 3 Дайте характеристику зоны взрывного горения.
- 4 Дайте характеристику зоны выброса пламени.
- 5 Дайте характеристику зоны распространения воздушной ударной волны.
- 6 Дайте характеристику зоны распространения продуктов взрыва.
- 7 Чему равна скорость взрывного горения газопылевоздушных смесей?
- 8 Чему равна скорость детонации ПВС и МВС?
- 9 Что называется критической длиной зоны разлета раскаленных продуктов взрыва?
- 10 Перечислите определяющие параметры критической длины зоны разлета.

- 11 Напишите формулу, по которой определяется критическая длина зоны разлета продуктов взрыва в выработке.

ЛЕКЦИЯ 3. ВЗРЫВЧАТОСТЬ ГАЗОПЫЛЕВОЗДУШНЫХ СМЕСЕЙ

3.1 Общие сведения

Взрывчатость (взрывоопасность) - это способность вещества или смеси веществ к воспламенению от теплового или другого внешнего воздействия (инициирующего импульса – источника воспламенения).

Взрывоопасность (взрывчатость) рудничной атмосферы определяется концентрационными пределами воспламенения (КПВ) смесей метана и угольной пыли с воздухом и характеризуется

- температурой вспышки (критической температурой воспламенения),
- минимальной энергией воспламенения (чувствительностью),
- скоростью взрывного горения и другими параметрами (например, взрывным давлением).

Предельное значение концентрации горючего в смеси с воздухом (кислородом), при котором еще возможно самораспространяющееся воспламенение, называется концентрационным пределом воспламенения (взрыва, взрываемости) (КПВ).

Расследование шахтных аварий показывает, что, как правило, крупные аварии начинались со вспышки метановоздушной смеси и переходили во взрывы пылевоздушных смесей, которые способны распространяться на довольно значительные расстояния, вызывая катастрофические разрушения на пути их следования. Так, например, при взрыве в 1980 г. на шахте "Горская" ПО "Первомайскуголь", в расследовании которого, как и многих других, принимал участие автор, следы проявления опасных воздействий взрыва были зафиксированы в трех очистных и трех подготовительных выработках на расстоянии более 5 км от места его возникновения.

Первое обусловлено, главным образом, более низкой чувствительностью пылевоздушных смесей к воспламеняющему (внешнему) импульсу по сравнению с метановоздушными, а также более высокой критической температурой вспышки, что видно из табл. 3.1.

Таблица 3.1 Параметры воспламенения смесей

Вид смеси	Минимальная энергия воспламенения, Дж	Критическая температура воспламенения, К (°C)
Метановоздушная (МВС)	$0,28 \cdot 10^{-3}$	923 (650)
Пылевоздушная (ПВС)	15,0	1123 (850)

Минимальный объем очага воспламенения МВС, способный вызвать взрыв мелкодисперсной угольной пыли, составляет $0,1 \text{ м}^3$, а среднedisперсной - $0,25 \text{ м}^3$.

В. Цыбульский считает, что $2,5 \text{ кН/м}^2$ ($0,0025 \text{ мПа}$) является предельным значением динамического давления, необходимого для развития взрыва угольной пыли.

Поэтому разработка безопасных параметров способов и средств взрывозащиты ведется, в основном, с целью предотвращения воспламенения метановоздушных смесей. Однако проверка эффективности и надежности их действия производится в пылевоздушных смесях.

3.2 ВЗРЫВЧАТОСТЬ МЕТАНОВОЗДУШНЫХ СМЕСЕЙ

В условиях производств могут образоваться любые смеси горючего газа или пара с воздухом. Концентрация горючего газа в этих смесях может изменяться в пределах от долей процента до 100%. Однако не все из этих концентраций взрывоопасны.

Необходимо содержание в воздухе определенного минимального количества того или иного газа, чтобы смесь, каким-либо путем зажженная, давала взрыв. Точно так же смесь становится не взрывоопасной, когда содержание газа в ней превышает некоторое максимальное количество. Причем, свойства смесей газов и паров с воздухом различны с точки зрения возможности их воспламенения.

Для удобства рассмотрения свойств отдельных смесей прямую МЛ (рис. 3.1) разобьем на 100 равных частей (100 объемных процентов). На этой прямой будем откладывать все концентрации, какие могут образоваться при смешении газа или пара с воздухом.

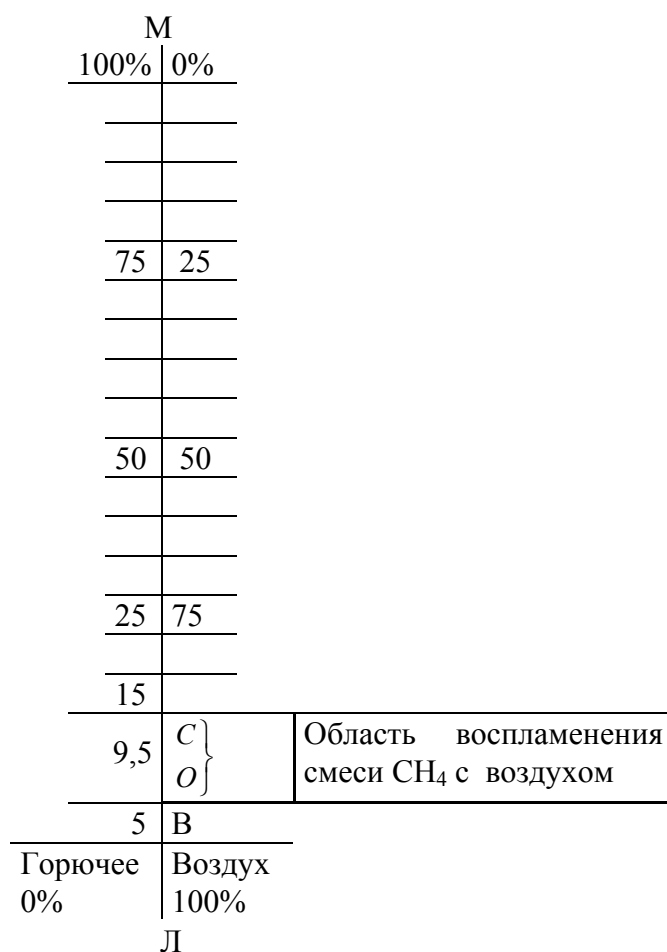


Рис. 3.1

С левой стороны прямой будем отмечать концентрации в смеси горючего компонента, а с правой стороны - воздуха. Точка М обозначает 100% горючего и 0% воздуха, а точка Л - 0% горючего 100% воздуха. В качестве примера нанесем на эту прямую характерные по свойствам концентрации смеси метана с воздухом.

Если смесь метана с воздухом, содержащую, например, 1% CH_4 , попытаться воспламенить мощной электрической искрой, легко заметить, что она не способна воспламениться. Не воспламеняется также смесь, содержащая 3% CH_4 . Только смесь, содержащая 5% CH_4 , способна воспламениться и гореть со скоростью взрыва.

Такая, выраженная в об. %, концентрация (обозначена на прямой МЛ точкой В) горючего газа, ниже которой все смеси его с воздухом (кислородом) не способны воспламениться и распространять взрыв, называется нижним концентрационным пределом воспламенения (НПВ). Иногда эта концентрация называется нижним пределом взрыва или нижним пределом взрываемости.

Смесь горючего газа при НПВ содержит избыток воздуха. Так, например, для смеси CH_4 с воздухом коэффициент избытка воздуха равен 2,0; для CO -

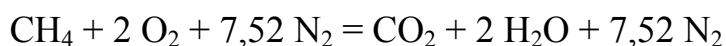
2,6; для сероуглерода - 6,9 и т.д. Следовательно, предельная смесь, имея небольшое количество горючего и значительное количество воздуха, должна обладать низкой теплотворной способностью, малой скоростью распространения пламени, низкой температурой взрыва и небольшим взрывным давлением.

При увеличении концентрации CH_4 в смеси выше НПВ получаются смеси, обладающие большей силой взрыва, чем смесь на НПВ.

Такие изменения свойств смеси становятся понятными, если учесть, что они содержат больше CH_4 и меньший избыток воздуха, чем предельная смесь, и, следовательно, обладают высокой теплотворной способностью и температурой взрыва.

Увеличение взрывного давления может продолжаться теоретически до стехиометрической смеси. В действительности наибольшее давление при взрыве получается у смеси с концентрацией несколько выше стехиометрической, т.к. ее скорость горения выше скорости горения стехиометрической смеси (наиболее горящая смесь содержит около 10,5% метана). Это объясняется тем, что при этой концентрации МВС имеет максимальную нормальную скорость горения.

Стехиометрическая концентрация метана, как и любого газа или пара, может быть рассчитана из уравнения реакции горения его в воздухе:



Согласно уравнению, стехиометрическая смесь CH_4 с воздухом состоит из $1 + 2 + 7,52 = 10,52$ равных объемов. Концентрация CH_4 в этой смеси будет равна:

$$\frac{100 \cdot 1}{10,52} = 9,5 \%$$

На прямой МЛ эта концентрация обозначается точкой О. При увеличении концентрации выше стехиометрической получают взрывчатые концентрации, но сила взрыва их будет постепенно уменьшаться в результате недостатка воздуха. Недостаток воздуха в смесях, еще более богатых горючим, ведет к тому, что смесь теряет способность воспламеняться.

Для CH_4 наивысшей концентрацией, способной воспламеняться в смеси с воздухом, является 15% CH_4 (точка С). Выше этой концентрации никакие смеси CH_4 с воздухом воспламеняться не могут, хотя в них присутствует некоторое количество воздуха.

Такая, выраженная в об. %, концентрация (обозначена на прямой МЛ точкой С) горючего газа, ниже которой происходит воспламенение, а выше которой смесь с воздухом (кислородом) не способна воспламеняться и распространять взрыв, называется верхним концентрационным пределом воспламенения (ВПП). Взрывное давление, а также скорость распространения пламени при этой концентрации невелики.

Таким образом, значения концентрации горючего газа в смеси с воздухом, ниже и выше которых смеси не способны воспламеняться и распространять взрыв называются нижним и верхним концентрационными пределами воспламенения (взрываемости, взрыва).

Для метанововоздушной смеси нижний концентрационный предел воспламенения (НПВ) равен 5 %, а верхний (ВПВ) - 15 %. Это означает, что способны воспламеняться только смеси, содержащие от 5 до 15 % метана. Наиболее легко воспламеняются смеси с концентрацией метана близкой к стехиометрической равной 9,5%.

Область концентраций между нижним и верхним концентрационными пределами взрываемости (между точками В и С) называется о б л а с т ь ю в о с п л а м е н е н и я.

Для метана она равна 5...15 %;

С ростом количества метана в воздухе от 5 до 15 % сила взрыва вначале нарастает, достигая максимума при концентрации несколько большей 9,5 %, а затем при дальнейшем повышении содержания метана уменьшается.

При попытке поджечь смеси, состав которых выходит за концентрационные пределы, стационарное пламя не образуется, а реакции, вызванные нагреванием в локальной зоне инициирования быстро затухают на некотором от нее расстоянии.

Метановоздушная смесь с содержанием метана до 5 % горит при наличии постоянного источника воспламенения.

Смеси, содержащие метана свыше 15 %, не взрываются, но могут гореть спокойным пламенем вблизи источника воспламенения при постоянном притоке кислорода в зону пламенного горения путем диффузии из окружающего пламя воздуха. Примером может служить факельное горение метана при сульфурном его выделении в атмосферу горной выработки, горение газа при прорыве из скважин (рис. 3.2) и в других подобных ситуациях.

Быстрое сгорание метана в виде вспышки происходит только вблизи нижнего и верхнего КПВ.

Концентрационные пределы взрываемости (воспламенения) смеси с воздухом являются важными практическими характеристиками взрывоопасности горючих газов и пыли. Они определяют способность смесей к самовоспламенению при нагреве и к распространению возникшего пламени по газу или аэро-взвеси.

Наличие областей безопасных концентраций дает возможность в процессе проведения горных выработок поддерживать такой режим работы, при котором исключается возможность взрывов и вспышек.

На рис. 3.3 показана широко используемая в горноспасательном деле диаграмма взрываемости метана, графически отражающая зависимость взрывчатости различных по своему составу метановоздушных смесей от процентного содержания в них метана и кислорода. Так, все практически осуществимые смеси метана с атмосферным воздухом представлены площадью ниже линии АД, со-

единяющей точку А (20,95% кислорода) с точкой Д (20% метана на оси абсцисс). Точка В соответствует нижнему концентрационному пределу взрываемости метана в воздухе (5% метана и 95% воздуха); точка С - верхнему (15% метана и 85% воздуха). В точке Е, соответствующей концентрации метана в смеси равной 6% и содержанию в ней кислорода равному 12%, нижний и верхний концентрационные пределы взрываемости метана в воздухе сливаются.

Точки В, С и Е замыкают на диаграмме взрываемости контур, называемый треугольником взрываемости. Точки анализов, заключенные внутри треугольника, соответствуют взрывчатым метановоздушным смесям. Поэтому основной задачей является не допустить попадания метановоздушной смеси в треугольник взрываемости. Линия ВЕ называется линией нижних концентрационных пределов взрываемости, а линия СЕ - линией верхних концентрационных пределов взрываемости.

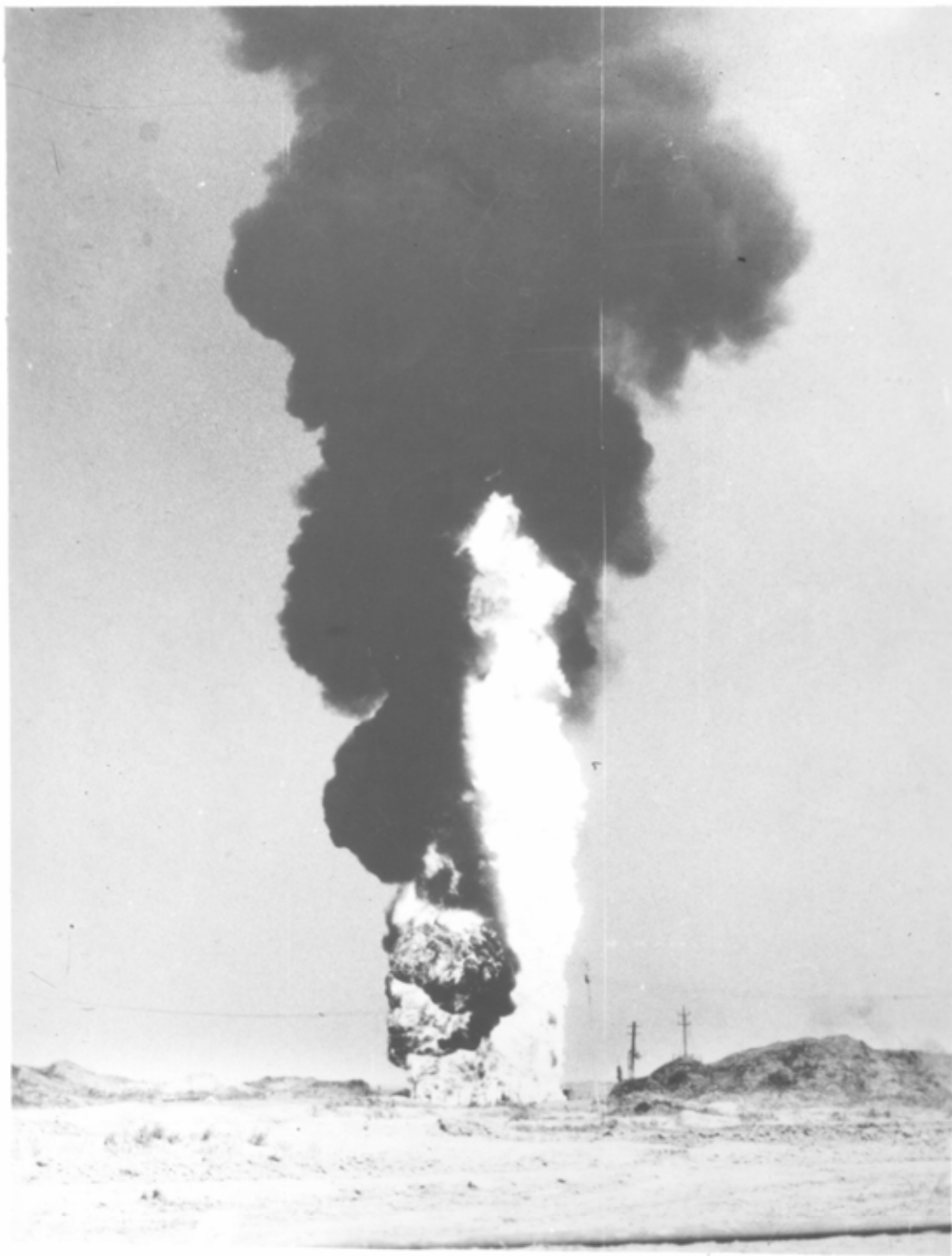


Рис. 3.2 Загальний вид спалахнувшої газоповітряної суміші при аварійному фонтануванні свердловини № 321 (літо 1991р., м.Карачаганай, Узбекистан).

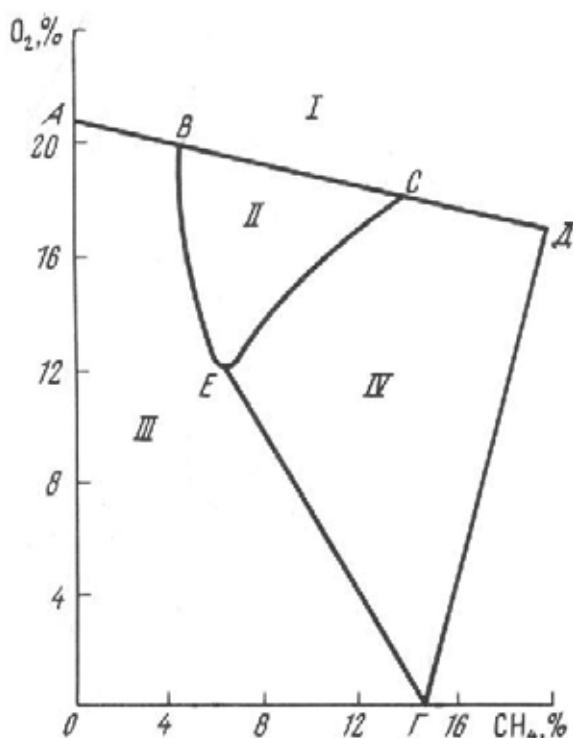


Рис. 3.3. Диаграмма взрываемости метановоздушных смесей

(I – неосуществимая смесь метана с воздухом; II и III – соответственно взрывчатая и невзрывчатая смеси; IV – смеси, могущие стать взрывчатыми при добавлении свежего воздуха)

- диаметр канала,
- начальное давление,
- начальная температура,
- примесь высших гомологов метана и других горючих газов.

Рассмотрим степень влияния каждого из перечисленных факторов.

а) примесь инертных (негорючих) компонентов (твердых, жидких, газообразных).

Влияние инертных компонентов на концентрационные пределы взрываемости сказывается через их воздействие на температуру горения смеси и процесс реакции окисления.

Если при фиксированном процентном соотношении горючего и окислителя к их смеси добавить инертные компоненты, то температура горения понижается и при определенном разбавлении смесь становится негорючей.

В процессе увеличения концентрации инертного компонента наблюдается сильное смещение ВПВ в сторону области взрываемости, нижний предел при этом меняется очень слабо. В определенной точке, называемой экстремальной точкой области взрываемости (точкой флегматизации или пиком воспламенения), оба предела сливаются, т.е. смесь становится не взрывчатой.

Линия ЕГ на диаграмме взрываемости строится проведением через точки А и Е прямой линии в направлении от точки Е к оси абсцисс до ее пересечения в точке Г. Эта линия разделяет две зоны: слева от линии ЕГ – зону невзрывчатых смесей метана с кислородом воздуха с контуром АВЕГОА и справа от линии ЕГ – зону невзрывчатых смесей метана с кислородом воздуха, но которые могут стать взрывчатыми при добавлении свежего воздуха. Эта зона ограничено контуром ЕГДСЕ.

Наибольшее влияние на изменение концентрационных пределов воспламенения оказывают следующие факторы:

- примесь инертных (негорючих) компонентов,
- содержание кислорода в смеси,
- мощность источник воспламенения,

б) содержание кислорода в смеси.

На взрывчатость газозвушных смесей существенно влияет содержание в них кислорода.

С увеличением содержания кислорода в смеси существенно возрастает чувствительность смеси и повышается верхний концентрационный предел ее взрываемости (до 61% в случае метанокислородной смеси), а нижний остается практически без изменения.

Минимальная энергия воспламенения метанокислородных смесей в 100 раз ниже, чем метановоздушных смесей.

При содержании кислорода в МВС 12...13% она становится не взрывчатой.

Давно было замечено, что взрывчатость МВС зависит от погодных условий. Однако только в последние годы экспериментально было доказано, что эта зависимость обусловлена, главным образом, изменением содержания кислорода в смеси.

Для установления количественного влияния погодных условий МакНИИ под руководством автора были проведены многолетние исследования в различные времена года, суток и при различных метеоусловиях. В опытах измерялось время между подачей электрического импульса источнику воспламенения (в электровоспламенитель ЭД) и подходом пламени к замерному участку (время развития воспламенения) ($T_{рв}$) при различных концентрациях метана ($C_{сн_4}$) и строилась зависимость $T_{рв} = f(C_{сн_4})$, точка минимума которой определяла параметры наиболее взрывчатой смеси.

В результате обобщения 14-летнего опыта (1972...1986 гг.) взрывания (обработано около 1000 осциллограмм, построено около 200 экстремальных кривых) установлено следующее (рис.3.4).

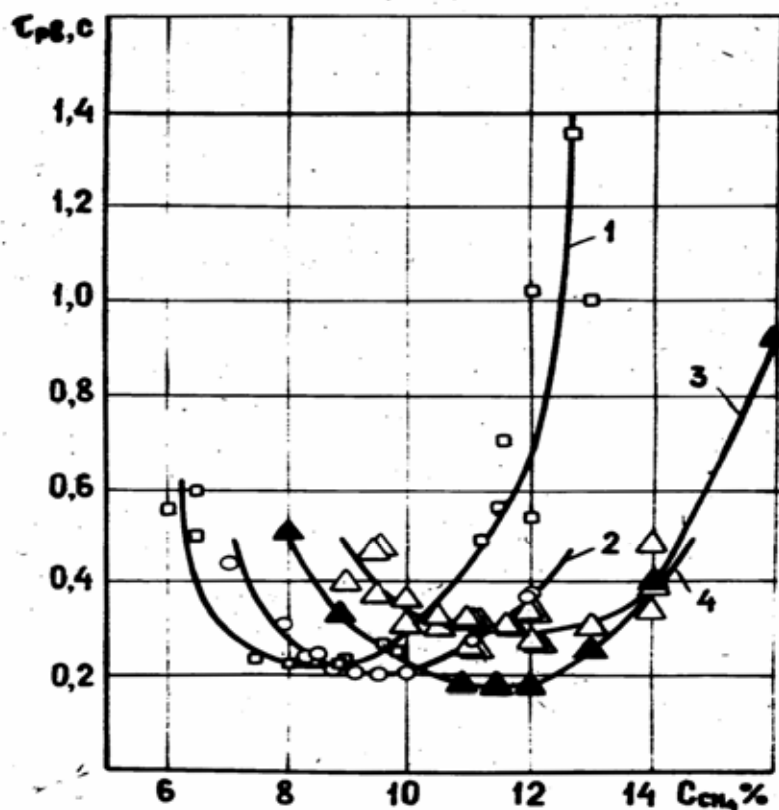


Рис. 3.4 Залежність часу розвитку спалахування ($\tau_{рв}$) в привібійній ділянці довжиною $\ell_{рв}$ від концентрації метану в суміші ($C_{сн4}$) при різних температурах зовнішнього повітря ($t_в$) (джерело спалахування - «капелька»):

- 1 - $t_в = 23,0...26,0^{\circ}\text{C}$ (при $C_{сн4} = 5,5\%$ суміш не спалахнула), $\ell_{рв} = 3,4$ м;
- 2 - $t_в = 9,0...12,5^{\circ}\text{C}$, $\ell_{рв} = 3,4$ м;
- 3 - $t_в = -6,0^{\circ}\text{C}$ (при $C_{сн4} = 5,0\%$ суміш не спалахнула), $\ell_{рв} = 2,9$ м;
- 4 - $t_в = -2,0^{\circ}\text{C}$, $\ell_{рв} = 9,0$ м;

При атмосферном давлении 746...767 мм рт.ст. и при относительной влажности воздуха 55...99% проявляется достаточно четко зависимость степени взрывчатости, а также величины и места расположения на прямой АВ области воспламенения метановоздушной смеси только от времени года, т.е. месяца, в котором проводились эксперименты, критерием которого служила температура наружного воздуха, используемого для приготовления смесей.

Наиболее взрывчатая МВС (скорость развития взрыва на участке длиной 9,0 м составляла 36 м/с, а длиной 2,9 м - 16 м/с) образуется в переходные месяцы (в межсезонье) (при температуре атмосферного воздуха равной от -1 до -6 $^{\circ}\text{C}$), а самая грубая (скорость развития взрыва на участке длиной 9,0 м - 26 м/с, а длиной 2,9 м - 12 м/с) в жаркие летние месяцы (при температуре от +20 до +27 $^{\circ}\text{C}$).

Причем, если в жаркую летнюю погоду наиболее взрывчатая смесь располагается вблизи стехиометрической (8...10%), то при небольшой отрицательной температуре она смещается в направлении верхнего концентрационного предела воспламенения и лежит в интервале 10,0...11,5%.

Этим объясняется причина бытующего мнения, что самые сильные взрывы в опытных установках наблюдаются в жаркое летнее время — ведь испытания во все времена года ведут, согласно ГОСТу, т.е. при концентрации метана равной 9,5%, а необходимо было бы при изменении погодных условий ее изменять. Необходимость такой корректировки была подтверждена в прямых экспериментах с порошковым веществом ПСБ-Т1, которые показали, что предотвращение воспламенения 9,5%-ной метановоздушной смеси достигалось при его концентрации 87,7 г/м³, 11%-ной (наиболее взрывчатой в период испытания) при 140 г/м³ (воспламенения имели место при концентрациях 87,7; 105,2; 122,8 г/м³).

Кроме того, было зафиксировано такое влияние и при взрыве заряда аммонита 6ЖВ массой 0,2 кг в оболочке из грубодисперсного хлорида калия удобрительного (К100Г): воспламенение 9,5%-ной МВС предотвращалось при окружении его оболочкой толщиной 5 мм, а воспламенение наиболее взрывчатой в период проведения испытаний МВС (концентрация метана - 10,8%) — оболочкой толщиной 8 мм (при оболочках толщиной 5; 6 и 7 мм смесь безотказно воспламенялась).

Полученные результаты достаточно хорошо коррелируются с сезонными изменениями содержания кислорода в атмосфере. В течение года содержание кислорода в атмосфере изменяется от 18,9 до 21,1%: подъем в месяцы с отрицательными и низкими положительными температурами, уменьшение в летние месяцы (парциальное давление кислорода зимой выше, чем летом). Причем, более высокие коэффициенты изменчивости отмечаются в зимние и переходные периоды.

Происшедшие аварии убедительно подтверждают эти выводы о том, что наиболее опасными с позиций повышения взрывчатости МВС являются периоды межсезонья и зимние. Так, например, большинство из 65 взрывов, происшедших в 1928-1930 гг. в Германии, падало на сухие переходные месяцы (апрель-май, сентябрь-октябрь). Практически все крупные взрывы-катастрофы произошли в межсезонье или зимние месяцы:

рудник "Курьер"	- 10 марта (погибло 1099 чел.);
шахта "Хонкейко"	- 26 апреля (1527 чел.);
шахта "Анна II"	- 21 октября (265 чел.);
шахта "Горская"	- 26 апреля (66 чел.);
шахта "Чайкино"	- 16 мая (36 чел.);
шахта "Сокурская"	- 20 февраля (92 чел.);
шахта "Контарная"	- 14 февраля;
шахта "Кондратьевка"	- 5 февраля;
шахта "Карагайлинская"	- 8 февраля;

шахта им. А.А. Скочинского	- 4 апреля;
шахта им. Засядько	- 24 мая (54 чел.);
шахта им. Баракова	- 11 марта (80 чел.) и т.д.

в) источники воспламенения.

При воспламенении газовых смесей электрическими искрами особенно хорошо видно влияние мощности источника воспламенения на его воспламеняющую способность.

Для каждой газовой смеси существует своя минимальная мощность искр, способная воспламенить смесь. Она меняется от состава, температуры, давления смеси, а также от условий воспламенения.

Для каждого горючего вещества существует минимальный ток, ниже которого горючая смесь не воспламеняется ни при каком содержании в ней горючего компонента (точка минимума на кривых): для метана он равен 0,57 А, этана - 0,45 А, пропана - 0,36 А и т.д.

Увеличение мощности электрических искр (до определенного предела) ведет к расширению области воспламенения газоздушных смесей (обоих КПВ).

Искры такой мощности, когда дальнейшее изменение пределов воспламенения не происходит, принято называть насыщенными.

Для метана насыщенный ток, при котором горючая смесь надежно воспламеняется, равен 1,0...1,1 А.

Использование их в приборах по определению концентрационных пределов воспламенения, температуры вспышки и других величин дает результаты, не отличающиеся от воспламенения раскаленными телами и пламенем. Это говорит о том, что насыщенные электрические искры можно принимать за разновидность высокотемпературных тепловых источников воспламенения и все закономерности, присущие тепловым источникам воспламенения, распространяются и на них.

С увеличением индуктивности уменьшается необходимая для воспламенения газовых смесей мощность электрических искр.

Знание минимальной мощности электрических искр (для метана она равна 0,28 мДж), необходимой для воспламенения различных газовых смесей, имеет большое практическое значение. Оно позволяет проектировать для взрывоопасных производств, безопасные системы связи, сигнализации, автоматики и другие устройства с применением электрического тока.

г) диаметр канала

Критический диаметр канала с прочными стенками, по данным экспериментов, имеет порядок 2,9...4,1 мм (теоретически он равен 3,15 мм). При меньшем значении этого диаметра возрастают тепловые потери в канале и распространение пламени становится невозможным. При критическом их значении и

чуть большем процесс горения неустойчив и протекает только в смеси близкой к стехиометрической.

Критические размеры каналов, по которым распространяется пламя, не зависят от материала их поверхности.

Увеличение диаметра канала выше критического расширяет пределы воспламенения.

Процесс воспламенения метановоздушной смеси стабилизируется при диаметре канала равном 50 мм, дальнейшее увеличение диаметра почти не влияет на процесс (увеличение диаметра трубы свыше 50 мм смещает предел на несколько десятых процента).

Экспериментальное значение критического размера канала в виде узких щелей в 1,4 раза меньше критического диаметра цилиндрических отверстий и для метановоздушной смеси равен 2,6 мм.

Критические размеры каналов, по которым распространяется пламя, не зависят от материала их поверхности.

д) начальное давление

Повышение первоначального давления до 3,0 мПа заметного влияния на изменение пределов взрываемости горючих газов не оказывает. При повышении давления до 40,0 мПа для метана нижний концентрационный предел практически не изменяется (становится равным 5,2%). Однако ВПВ возрастает до 46%, в т.ч. при 5,0 мПа равен 29,4%.

При уменьшении давления горючей смеси ниже нормального происходит сужение области воспламенения и при некотором давлении смесь становится безопасной. Например, при давлении 200 мм рт.ст. окись углерода не воспламеняется (пределы воспламенения сходятся вместе).

е) начальная температура смеси

Влияние температуры проявляется довольно слабо. Это объясняется тем, что для распространения пламени существенна не начальная температура смеси, а температура развивающаяся при горении. При большом тепловом эффекте экзотермической реакции температура горения очень слабо зависит от начальной температуры смеси. Поэтому изменение концентрационного предела сравнительно невелико.

Например, при повышении начальной температуры на каждые 100 °С нижний предел снижается на 10%, а верхний - повышается на 15%, т.е. повышение температуры несколько расширяет область воспламенения. Так, например, для водорода при изменении температуры от 20 до 400 °С область воспламенения возрастает от 7,12...66% до 6,3...82%.

ж) примеси горючих газов

Помимо метана в рудничной атмосфере содержатся в небольших количествах (0,8...7,6%) гомологи метана и другие горючие газы (этан, пропан, бутан, пентан, водород, оксид углерода и др.).

Их область воспламенения отличается от области воспламенения метана, а именно:

водород	— 7,12...66,0%;
оксид углерода	— 12,80...75,0%;
пропан	— 2,40...9,5%;
аммиак	— 15,50...27,0%;
бутан	— 1,86...8,4%;
пентан	— 1,45...6,5%.

Высшие гомологи метана снижают нижний предел взрываемости, индукционный период и температуру воспламенения смеси.

На повышение верхнего предела взрываемости метана значительно влияет примесь водорода. Поскольку пожары в шахте всегда сопровождаются выделением водорода, то при ведении горноспасательных работ следует применять средства предупреждения взрывов с учетом сложных метановодородных смесей.

Нижний концентрационный предел воспламенения смеси горючих газов с воздухом определяется по формуле:

$$H = \frac{100}{\frac{C_1}{H_1} + \frac{C_2}{H_2} + \dots + \frac{C_n}{H_n}}, \%, \quad (3.1)$$

где H - нижний концентрационный предел воспламенения смеси нескольких горючих газов (в объемных процентах);

H_1, H_2, \dots, H_n - нижние пределы воспламенения горючих газов, %;

C_1, C_2, \dots, C_n - концентрация горючих газов (в объемных процентах),
причем $C_1 + C_2 + \dots + C_n = 100\%$.

По формуле (3.1) можно определить верхние пределы воспламенения смесей нескольких горючих газов (V), при этом H_1, H_2, \dots, H_n заменяются обозначениями верхних пределов воспламенения, т.е. V_1, V_2, \dots, V_n .

3.3. ВЗРЫВЧАТОСТЬ ПЫЛЕВОЗДУШНЫХ СМЕСЕЙ

Под термином «пыль» следует понимать совокупность тонкодисперсных твердых частиц органического или минерального происхождения. Если взглянуть на пыль в микроскоп, то можно увидеть собрание всех родов холодного оружия: крючья, копыя, кинжалы, ножи.

Всякая пыль, горючая по своим химическим или физическим свойствам, при определенной концентрации с воздухом взрывоопасна.

Для нейтрализации взрывчатых свойств пылеметановоздушных смесей необходимо снижение кислорода примерно до 13%. При содержании кислорода в

пылевом аэрозоли ниже 6% не только взрыв, но и горение пыли невозможно (даже особо опасная пыль серы требует 8,5% кислорода).

Угольная пыль влажностью 17% считается невзрывчатой.

Взрывчатость угольной пыли зависит от многих факторов. Определяющими из них являются следующие:

а) химический состав угольной пыли, в первую очередь, выход летучих веществ, отнесенных к беззольной и безводной массе.

Принято считать, что количество летучих веществ (продуктов), отнесенных к беззольной и безводной массе, является главным показателем степени взрывчатости угольной пыли (кроме того, на степень взрывчатости влияет состав летучих веществ, степень окисленности углей и их петрографический состав). Пыль длиннопламенных и газовых углей, содержащих много летучих веществ, как правило, легко воспламеняется и, наоборот, пыль антрацитов, почти не содержащих летучих веществ, практически не взрывается.

По выходу летучих веществ осуществляют отнесение угольных пластов к опасным по взрыву пыли, а также определяют приняла ли угольная пыль участие во взрыве.

Угольная пыль шахтопластов с выходом летучих веществ (при массовой их доле) 6% и менее, согласно принятым как у нас, так и за рубежом методикам испытаний, является невзрывчатой.

Согласно правилам безопасности, к опасным по взрыву пыли относятся пласты угля (кроме антрацитов) с выходом летучих веществ 15% и более, а также пласты угля (кроме антрацитов) с меньшим выходом летучих веществ, взрываемость пыли которых установлена лабораторными испытаниями.

При содержании летучих более 15% взрывчатость пыли быстро возрастает.

Наиболее опасной считается угольная пыль с выходом летучих веществ 27...35%.

Поэтому при лабораторных испытаниях в МакНИИ средств взрывозащиты применяется угольная пыль, полученная искусственным измельчением угля пласта m3 "Макеевский" шахты "Чайкино", содержащая 5% золы, 1,5% влаги и 34,5% летучих веществ на безводную и беззольную массу.

Поскольку процесс горения при взрыве аэрозвеси происходит в потоке, то при столкновении пылинок их жидкие пленки могут сливаться, при остывании образуя на крепи, стенках выработки и на поверхности горношахтного оборудования сплошную массу, заполненную газообразными и твердыми продуктами пиролиза, т.е. корку спекшегося шлака. Такие образования называются "коксыком" и служат одним из признаков, по которому судят об участии пыли во взрыве при расследовании аварий в шахтах. Образование "коксыков" присуще только пыли спекающихся углей (Г, Ж, К, ОС). При взрыве пыли неспекающихся углей (Б, Д, Т) "коксыков" не образуется и ее участие во взрыве можно установить только по убыли летучих веществ ($V_{сф}^{daf}$).

Взрыв угольной пыли и распространение его по выработкам или участие угольной пыли во взрыве метана устанавливается по результатам технического анализа отобранных при расследовании взрыва пластовых проб угля, "коксика" и отложившейся пыли. Убыль летучих веществ в пробах коксика или отложившейся пыли по сравнению с таковыми в пластовой пробе угля на 6...10% и более свидетельствует о том, что пыль в местах отбора проб могла явиться носителем взрыва даже при отсутствии в атмосфере метана. При убыли летучих веществ менее 6% пыль приняла участие во взрыве метана; при этом угольная пыль могла усилить взрыв, но самостоятельно она не явилась причиной распространения пламени взрыва по выработкам. В том случае, когда технический анализ (на содержание в отложившейся угольной пыли летучих веществ по сравнению с исходным состоянием) дает противоречивые данные, но на аварийном участке достоверно обнаружены следы термического воздействия за границей зоны разлета ПВ МВС предполагаемого (или определенного точно) объема, взрывом охвачена аномально большая протяженность горных выработок, достоверно обнаружены отложения сажи в виде волокон во впадинах за границей зоны горения исходной МВС, зарегистрированы аномально высокие концентрации СО в ПВ, то окончательный вывод об участии угольной пыли во взрыве делают на основании исследований изменения ее петрографических характеристик, степени метаморфизма или элементного состава.

б) дисперсный состав пыли.

Многочисленными исследованиями установлено, что степень дисперсности является существенным фактором, определяющим взрывчатость угольной пыли.

Во взрыве пыли принимают участие частицы размером менее 1000 мкм.

Взрываемость угольной пыли растет с увеличением степени дисперсности до некоторого предела. Поэтому угольная пыль в горных выработках шахты по мере удаления от источника пылеобразования потенциально более взрывоопасна.

Наиболее высокими взрывчатыми свойствами обладает угольная пыль с размерами частиц 75...100 мкм (пыль, проходящая через сито N 80).

По результатам некоторых исследований максимальная взрывчатость пыли наблюдается при размерах частиц 10...60 мкм.

По данным В. Цибульского, наиболее высокими взрывчатыми свойствами обладает угольная пыль с размером частиц 45 мкм.

Дальнейшее измельчение угольной пыли сопровождается снижением ее взрывчатости вследствие повышенной склонности частиц малых размеров к образованию агрегатов. Было показано, что добавка к высокодисперсной угольной пыли небольшого количества крупных частиц из-за их дезагрегирующего действия при распылении существенно увеличивает взрывчатые свойства образующейся аэровзвеси.

в) степень запыленности атмосферы (концентрация пыли в воздухе).

Находясь во взвешенном состоянии в воздухе, пыль образует дисперсную систему. При этом твердые частицы составляют дисперсную фазу, а воздух является дисперсионной средой.

Взвешенная в воздухе пыль называется пылевым аэрозолем.

При очень большой степени запыленности расстояние между отдельными пылинками очень мало, и поэтому такое пылевое облако не взрывоопасно. Увеличивая расстояние между пылинками, мы достигаем такого момента, когда воспламенение и взрыв возможны. Эта концентрация называется верхним пределом взрываемости пылевоздушной смеси.

Дальнейшее увеличение расстояния между частицами до тех пор, пока взрыв становится невозможным, приводит к так называемому нижнему пределу взрываемости. Значения нижнего и верхнего пределов взрываемости зависят от химических и физических свойств пыли.

Концентрационные пределы взрываемости пыли выражаются в г/м^3 .

Самые высокие НПВ у цинковой (800 г/м^3) и табачной (101 г/м^3) пыли, а самые низкие – у серной пыли ($2,3 \text{ г/м}^3$). Нижний предел взрываемости пылей некоторых ВВ равен:

тротила – 42 г/м^3 ;
гексогена – $31,5 \text{ г/м}^3$;
аммонита 6ЖВ – $14,9 \text{ г/м}^3$.

Нижний предел взрываемости отложившейся угольной пыли можно определить по номограмме или принимать, согласно результатам испытаний (керновых или пластовых проб) в лаборатории МакНИИ (или ВостНИИ).

Для самой опасной угольной пыли нижний концентрационный предел взрываемости равен 10 г/м^3 , а верхний – 2500 г/м^3 .

Для сухой пыли жирных углей с частицами размером около 60 мкм концентрационные пределы составляют от 37 (нижний) до 1700 г/м^3 (верхний).

Зависимость нижнего предела взрываемости пыли от выхода в ней летучих веществ с достаточной для практики точностью выражается эмпирическим соотношением

$$\delta_{\text{отл}} = 53,3 \exp(-0,045 V_{\text{сф}}^{\text{daf}}) + 1,4 \exp(-0,032 V_{\text{сф}}^{\text{daf}}) \cdot A_{\text{ф}}^{\text{s}}, \text{ г/м}^3, \quad (3.2)$$

где $\delta_{\text{отл}}$ – нижний концентрационный предел взрываемости угольной пыли шахтопласта, г/м^3 ;

$V_{\text{сф}}^{\text{daf}}$ – выход летучих веществ, %;

$A_{\text{ф}}^{\text{s}}$ – содержание негорючих веществ в пластовой пробе угля (зольность угля), %.

Для пластов угля с выходом летучих веществ 15% и более нижний концентрационный предел взрываемости пыли можно определить по номограмме, приведенной в «Инструкции по предупреждению и локализации взрывов угольной пыли».

Наиболее разрушительным действием обладает взрыв пылевоздушной смеси, содержащей 300 г пыли в 1 м^3 воздуха.

Замеры показывают (данные ВостНИИ), что концентрация пыли в призабойном пространстве при работе проходческого комбайна достигает $20\ldots 25\text{ г/м}^3$, очистного - $50\ldots 70\text{ г/м}^3$.

3.4. ВЗРЫВЧАТОСТЬ ГАЗОПЫЛЕВОЗДУШНЫХ (ТРОЙНЫХ) СМЕСЕЙ

При добавлении метана к пылевоздушной смеси с концентрацией пыли ниже наиболее взрывчатой или пыли к МВС с концентрацией метана ниже стехиометрической воспламеняемость тройной смеси растет, достигает максимума и затем падает.

При наличии в выработке метана нижний концентрационный предел взрываемости угольной пыли снижается и определяется по следующей эмпирической формуле

$$\delta_{\text{мпв}} = \delta_{\text{отл}} \exp (-0,69 C_{\text{сн4}}), \text{ г/м}^3, \quad (3.3)$$

где $\delta_{\text{отл}}$ - нижний предел взрывчатости пылевоздушной смеси, г/м^3 ;

$C_{\text{сн4}}$ - концентрация метана в смеси, причем $C_{\text{сн4}} \leq 2\%$.

Если, например, концентрация метана в выработке равна 1%, то этот предел снижается в два раза, при 2% - в четыре раза. Следовательно, при наличии в выработке метана угольная пыль может взорваться при концентрации $4\ldots 5\text{ г/м}^3$, т.е. такой концентрации, которая может быть на рабочем месте в процессе выполнения проходческого цикла.

Поэтому, согласно Правилам безопасности, концентрация метана на рабочем месте не должна превышать 2%, а взрывные работы запрещается выполнять, согласно ЕПБ, при концентрации метана 1 % и более.

Таким образом, при фиксированном содержании в тройной смеси метана последняя будет обладать наибольшей воспламеняемостью при определенном содержании в ней пыли. Называют эту тройную смесь квазистехиометрической - наиболее взрывчатая тройная смесь.

Очевидно, каждому фиксированному содержанию метана или угольной пыли будет соответствовать своя квазистехиометрическая тройная смесь.

Сравнивая воспламеняемость квазистехиометрических смесей приходим к выводу, что чем меньше содержание пыли в тройной квазистехиометрической смеси, тем ее воспламеняемость выше. Таким образом, самой взрывчатой оказалась стехиометрическая метановоздушная смесь.

Контрольные вопросы и задания

1. Что такое концентрационные пределы воспламенения (взрываемости)?

2. Назовите концентрационные пределы воспламенения МВС.
3. Перечислите факторы, влияющие на КПВ МВС.
4. Назовите концентрационные пределы взрывчатости пылевоздушной смеси.
5. Как ведет себя МВС при концентрации метана в ней меньше 5%?
6. Как ведет себя МВС при концентрации метана в ней больше 15%?
7. Какая угольная пыль считается невзрывчатой?
8. Перечислите факторы, определяющие взрывчатость угольной пыли.
9. Охарактеризуйте взрывчатость тройных смесей.

Лекция № 4. Основные сведения о механизме воспламенения газовых и пылевых систем. Современная концепция взрывозащиты горных выработок

4.1 Введение

Самоподдерживающийся устойчивый процесс горения газопылевоздушных смесей может быть вызван двумя причинами:

- самовоспламенением (при достижении в любой точке смеси критических параметров нагрева и сжатия),
- принудительным воспламенением от внешних источников.

В горных выработках угольных шахт воспламенение может произойти только от внешнего источника.

Поэтому рассмотрение основных сведений о горении и взрыве и методов борьбы с ними в горных выработках будет проведено с учетом того, что устойчивый процесс горения газопылевоздушных смесей вызван принудительным воспламенением от внешнего источника.

4.2 Механизм возникновения воспламенения газоздушных смесей

В настоящее время существует две основные теории, объясняющие процессы возникновения и развития взрыва:

- тепловая теория,
- теория радикально-цепных (или просто цепных) реакций.

Обе теории базируются на выводах кинетической теории, не исключают, а лишь дополняют и развивают друг друга.

4.2.1 Тепловая теория

Первой хронологически (конец XIX века) была тепловая теория, основоположниками которой считаются Малляр, Ле Шателье и Нуссельт. В основу этой теории положена гипотеза Вант-Гофа о температурной зависимости скорости химической реакции. Тепловой взрыв не связан с каким-либо определенным механизмом химической реакции. Условием теплового взрыва является преобладание теплоприхода за счет энергии реакции над отводом тепла в окружающую среду. В этом случае в системе накапливается тепло, что приводит к самоподогреву и соответственно к саморазгону реакции. Эта реакция символически может быть представлена для однородной стехиометрической метановоздушной смеси уравнением $\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 + 7,52\text{N}_2 = \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 7,52\text{N}_2 + 210,8$ ккал/моль (на один объем кислорода в воздухе приходится $79/21 = 3,76$ объемов азота или на одну молекулу кислорода 3,76 молекул азота).

В других случаях состав конечных продуктов реакции будет определяться соотношением долей метана и кислорода в исходной смеси.

Согласно тепловой теории самовоспламенения газов, минимальная температура, при которой выделение тепла превышает его отвод, является температурой самовоспламенения, или температурой вспышки, или критической температурой ($T_{всп}$, T_K).

Как показывают эксперименты, при действии на горючую смесь источника воспламенения реакция в течение определенного промежутка времени протекает без внешних признаков, в частности, без возникновения пламени.

Промежуток времени скрытого (без возникновения пламени) протекания реакции воспламенения называют периодом индукции или задержкой воспламенения ($\tau_{ин}$).

Период индукции достаточно надежно определяется экспериментально в широком диапазоне температур.

Зависимость периода индукции, или задержки вспышки ($\tau_{ин}$, с) от температуры источника воспламенения (T , К) установлена экспериментальным путем - на основе опытных данных, полученных при воспламенении метановоздушной смеси нагретым до различной температуры газом (коэффициент корреляции равен 0,999), и имеет вид:

$$\tau_{ин} = 7994 * e^{-0,0113(T-273)}, \text{ с}, \quad (4.1)$$

где T - температура источника воспламенения, К.

Так, например, при $T = 923\text{К}$ $\tau_{ин} = 10$ с, при 1073К - 1 с, 1223К - 0,2 с, 1473К - 0,01 с.

Открытие “времени индукции” является величайшей вехой в разработке систем взрывозащиты. Оно означает, что воспламенения не произойдет при любой температуре источника воспламенения, если $\tau_{ди} < \tau_{ин}$, где $\tau_{ди}$ - время действия источника воспламенения. Например, прострел раскаленной пулей взрывчатой метановоздушной смеси не приводит к ее воспламенению.

Наличие времени индукции воспламенения позволило создать, в частности, предохранительные ВВ. Согласно этой теории, ВВ будет тем безопасней, чем ниже температура газов взрыва и меньше продолжительность воздействия пламени взрыва на данный объем смеси (выше скорость их расширения и охлаждения).

Задача 4.1 Определить период индукции воспламенения стехиометрической метановоздушной смеси открытым пламенем спички ($T = 1200^0\text{C}$) и тлеющей папиросой ($T = 700^0\text{C}$).

Решение

Задача 4.1.1

$$\tau_{ин} = 7994 * e^{-0,0113(T-273)} = 7994 * e^{-0,0113*1200} = 7994 * e^{-13,56} = 7994 * 0,0000012 = 0,0096\text{с} = 9,6\text{мс}$$

Задача 4.1.2

$$\tau_{ин} = 7994 * e^{-0,0113*700} = 7994 * e^{-7,91} = 7994 * 0,000371 = 2,97 \text{ с}.$$

4.2.2 Теория цепных реакций

Практика показала, что воспламенение может происходить в изотермических условиях, т.е. без повышения температуры реагирующей среды («холодное» воспламенение смеси). В этом случае говорят о цепном (изотермическом) взрыве.

Согласно цепному механизму, образовавшееся в атмосфере горной выработки горение горючей среды является, прежде всего химическим процессом, поскольку в его основе лежат реакции химического превращения одних веществ в другие.

Два исходных компонента - горючие и окислитель, находясь в относительно устойчивом молекулярном состоянии, прежде чем ассоциироваться в новые, более устойчивые, молекулы продуктов горения, претерпевают целую цепь сложных промежуточных превращений, результатом которых является образование неустойчивых продуктов: атомов, радикалов, возбужденных молекул с относительно большой степенью ионизации (формальдегид, углеводородный и гидроксильный радикалы, атомарный кислород и водород).

В.Н. Кондратьеву и др. удалось обнаружить в пламени различных углеводородов большие концентрации атомарного кислорода (О), гидроксильного радикала (ОН), углеводородных радикалов (CH_3), окиси углерода (СО), формальдегида (CH_2O) и др. Концентрации этих веществ в пламени оказались в тысячи и миллионы раз большими их равновесных концентраций при термическом разложении конечных продуктов реакции, например, $\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H} + \text{OH}$, при температуре пламени.

Результаты этих наблюдений позволили сделать вывод, что рассматриваемые атомы и радикалы появляются в реагирующем газе не вследствие распада конечных продуктов, а являются промежуточными продуктами реакции.

Таким образом, в основе цепного механизма воспламенения лежит целая цепь химических превращений одних веществ в другие, результатом которых является образование на отдельных промежуточных стадиях химически очень активных, неустойчивых продуктов, получивших название активных центров, которые легко реагируют между собой и с молекулами исходных веществ с образованием новых активных центров и конечных продуктов, например, для МВС — H_2O и CO_2 .

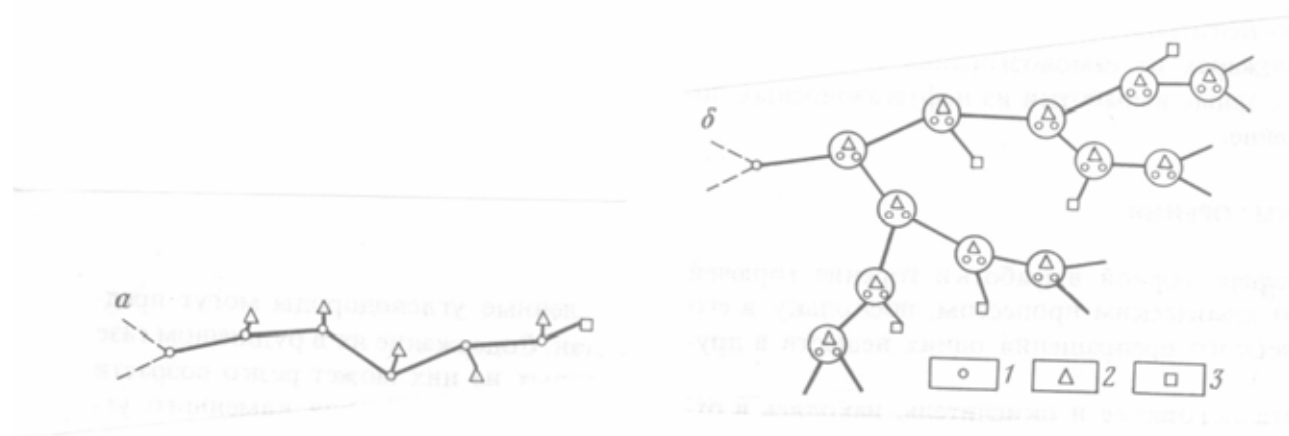
Высокая реакционная способность радикалов и атомов объясняется малой энергией активации их реакций, близкой к энергии активации атомных реакций ($\text{OH} + \text{H}_2 = \text{H}_2\text{O} + \text{H}$ — около 6 ккал/моль, $\text{CH}_3 + \text{C}_3\text{H}_6$ — около 3 ккал/моль, $\text{CH}_3 + \text{C}_6\text{H}_6$ — 5,6 ккал/моль и т.д.).

Обладая повышенной реакционной способностью, активные центры легко реагируют между собой и с поступающими в их зону молекулами исходных веществ. При этом может образовываться конечный продукт и возрождаться (регенирироваться) один или несколько новых активных центров в зависимости

от типа протекающей реакции. Вновь образовавшиеся активные центры снова вступают в химические реакции с образованием новых активных центров и т.д. Возникает целая цепь химических превращений, которая может насчитывать несколько сотен тысяч звеньев.

Характерно, что добавка извне указанных соединений в метановоздушную смесь, например, вместе с продуктами взрыва ВВ, ускоряет реакцию окисления метана. Тем самым подтверждается активная роль в цепной реакции окисления метана вышеуказанных веществ. Последние принято называть активными центрами (передаточные звенья или центры распространения) цепной реакции, ибо они обуславливают развитие цепей.

Цепная реакция может быть не разветвленной (простой), когда каждая реакция активного центра может приводить к регенерации только одного нового активного центра, и разветвленной - когда одна элементарная реакция дает не один, а два и более активных центров. В последнем случае один из регенерированных активных центров будет продолжать реакцию, а другие начнут новые цепи (рис. 4.1).



Мал. 4.1. Схема ланцюгових реакцій

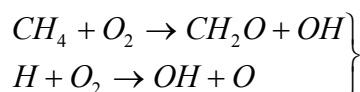
а-простий

б-ланцюгової

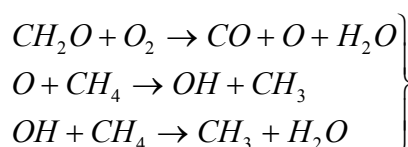
1 - активні центри; 2 - продукти реакції; 3 - побічні продукти



зародження ланцюга;



головний ланцюг;



розвитлення то що

Типичной реакцией с неразветвляющейся цепью является взаимодействие хлора с водородом. Активными центрами этой реакции служат чередующиеся

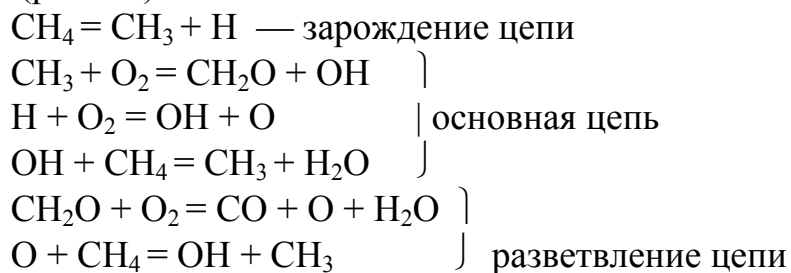
атомы хлора и водорода. При реагировании атома хлора образуется один атом водорода так же, как при реагировании атома водорода образуется один атом хлора. Поэтому реакция может продолжаться, но не ускоряться.

При протекании разветвленной цепной реакции, которая характерна для углеводородов, концентрации активных центров может возрастать независимо от условий начального инициирования и, если скорость образования активных центров при разветвлениях превосходит скорость обрыва цепи, то возникает самоускоряющийся процесс лавинообразного характера, приводящий к воспламенению.

В настоящее время нет твердо установленных схем протекания реакций окисления углеводородов. Однако имеющийся экспериментальный материал о промежуточных продуктах окисления метана позволил многим авторам предложить более или менее полные схемы протекания этой реакции.

В настоящее время выявлены и отобраны 86 элементарных реакций с участием 17 частиц (активных центров); в том числе OH , H , O , HO_2 , H_2O_2 , CH_2O .

Поскольку тип промежуточных продуктов и характер промежуточных реакций имеет большое значение при оценке условий самовоспламенения газа и разработке мер, предотвращающих вспышку, приводим наиболее вероятные из схем (рис.4.1).



и т.д.

Источником зарождения цепи, т.е. образования активных центров в метано-воздушной смеси (МВС) может служить ударная волна.

В принципе достаточно одного активного центра, чтобы исходные компоненты (CH_4 и O_2) превратить в конечные (CO_2 и H_2O).

Наибольшим временем жизни обладает радикал OH , а при повышении температуры в богатых метановоздушных смесях, наиболее долгоживущим является атомарный водород (H).

Таким образом, при наличии цепного механизма горения, который характерен для углеводородов, быстрое накопление в газовой смеси активных центров делают возможным “холодное” воспламенение смеси, т.е. без первоначального повышения температуры реагирующей среды.

Скорость реакции будет определяться числом активных центров, образующихся в единицу времени. При этом необходимым условием самоускорения реакции является постоянное возобновление (регенерация) новых активных центров взамен поглощенных при образовании конечных продуктов окисления.

Очевидно, для первоначального зарождения (инициирования) цепи необходимо образование каким-либо способом активного центра. Зарождение цепи всегда является эндотермической реакцией, и для ее возникновения необходим

внешний импульс (тепло, электрический разряд, и т.д.) с энергией, достаточной для разрыва внутримолекулярных связей исходного вещества.

Цепная реакция может продолжаться до тех пор, пока существуют реагирующие вещества или пока не произойдет обрыв цепи (столкновение атомов между собой и образование из них молекул, столкновение активных центров со стенкой сосуда).

Теория цепных реакций применительно к процессам горения и взрыва в газовых системах получила развитие, главным образом, в работах академика Н.Н. Семенова и его школы. За эту разработку ему присуждена Нобелевская премия.

4.2.3 Цепочно-тепловой механизм воспламенения

В подавляющем большинстве случаев, которые могут иметь место в угольной шахте, возможен, для смесей углеводородов с воздухом, только цепочно-тепловой механизм самоускорения реакции.

Его особенность заключается в том, что развитие реакции с самого начала происходит по цепному механизму, а затем реакция по общим кинетическим законам ускоряется не столько в результате разветвления цепей, сколько вследствие саморазогрева реакционной среды, т.е. по тепловому механизму.

4.3 Основные сведения о процессе взрыва в пылевых смесях

4.3.1 Этапы исследования взрывчатости угольной пыли

Наличие взрывчатых свойств в угольной пыли констатировано впервые в Англии в 1803 г.

В сороковых годах XIX столетия впервые стал изучать взрывчатые свойства угольной пыли Фарадей (по поводу взрыва на руднике Hasfwell). В 1844 г. он сформулировал некоторые теоретические основы взрыва.

Однако еще долгие годы после этого считалось, что угольная пыль не способна самостоятельно взрываться. Утверждалось, что для возможности взрыва пыли необходимо наличие хотя бы небольшого количества гремучего газа (метана). Полагали, что угольная пыль только усиливает взрывы МВС.

В 1876 г. английский рудничный инспектор Генри Холл провел ряд опытов с угольной пылью в наклонной шахте ($S = 2,8 \text{ м}^2$) длиной 41 м. Пыль располагалась на почве, инициирование взрыва осуществлялось с помощью заряда пороха. Пыль надежно воспламенялась. При этом возникали взрывы такой силы, что пламя выходило на поверхность. Это были первые опыты в большом масштабе. Однако их результаты не произвели должного впечатления и даже были встречены с недоверием.

В 1882 г. французские исследователи Mallard и Le Chatelier (Малляр и Ле Шателье) после проведенных исследований в малом масштабе сделали весьма категорический вывод о том, что “при отсутствии газа пыль не является причиной серьезной опасности - она может играть серьезную роль, лишь отягчая по-

следствия взрыва газа“. Этот решительный вывод, благодаря авторитету исследователей, сыграл роковую роль во Франции, на многие годы предопределив направления взглядов французских специалистов на роль пыли во взрыве. Благодаря этому Франция стала родиной противопыльных теорий и только взрыв в руднике “Курьер” в 1906 г. (погибло 1099 из 1664 горняков, находившихся в шахте) заставил подвергнуть коренному пересмотру установившихся взглядов. После этого взрыва была организована испытательная станция во Франции - в Льевене.

После неудачи Ле Шателье и Малляра эксперименты проводились только в большом масштабе. Во Франции исследования провел Тафанель, опыты (6 серий) которого приобрели мировую известность. Было убедительно доказано, что угольная пыль является не только участницей, но и главным фактором в больших рудничных взрывах - угольная пыль может развить сильный взрыв и без присутствия метана.

Поэтому в конце XIX - начале XX столетия начались широкомасштабные экспериментальные исследования взрывчатости угольной пыли. В наиболее развитых угледобывающих странах (Англии, Франции, Германии, Австрии, России) были построены опытные штольни.

В 1913 г. в Макеевке (на территории МакНИИ) была построена металлическая штольня длиной 30 м, в 1930-1940 гг. - подземная (водородная) штольня длиной 200 м, а в 1963 г. – опытная шахта.

4.3.2 Механизм взрыва пылевоздушных смесей

Процесс взрыва угольной пыли по своей природе приближается к процессу взрыва газовых смесей.

Взрыв пылевоздушных смесей происходят в газовой фазе, т.е. за счет газификации пылевых частиц с выделением горючих газов и образованием взрывчатой смеси их с воздухом. Это означает, что необходимым условием протекания взрыва пыли является выделение во взрывной объем достаточного количества продуктов пиролиза органического вещества (угля). Далее механизм возникновения и развития взрыва аналогичен механизму взрыва газовых смесей.

Следовательно, взрыв пылевоздушных смесей протекает в следующей последовательности:

- нагрев аэровзвеси угольной пыли;
- пиролиз угольного вещества, сопровождающийся его газификацией с выделением горючих газовых компонентов (летучих веществ);
- образование взрывчатой смеси летучих веществ с воздухом и ее воспламенение;
- горение твердого остатка угольной пыли.

В реальных полидисперсных аэровзвесах вследствие значительных различий размеров угольных частиц процессы горения летучих веществ и твердого остатка могут протекать одновременно. Распространение горения от поджи-

гающего источника по всему объему взрывозвеси является сложным процессом, на который оказывают влияние размеры частиц, их концентрация в воздухе и физико-химические свойства угольной взрывозвеси, а также параметры источника воспламенения и другие факторы.

Механизм воспламенения и горения летучих веществ в смесях с воздухом являются цепочно-тепловыми, и в этом отношении не отличается от других газозавоздушных смесей.

4.4 Современная концепция взрывозащиты горных выработок

В топливно-энергетическом балансе страны уголь занимает одно из ведущих мест. Поэтому обеспечение взрывобезопасности угольных шахт является важнейшей задачей.

На современном этапе управления угольной промышленностью в нашей стране взрывозащита шахт приобретает особую значимость, становится не только актуальной задачей, но и единственным способом жизнеобеспечения в шахтах и сохранения предприятия.

Взрывозащита включает в себя систему технических и организационных мероприятий, выполняемых при ведении горных работ с целью полного исключения возможности возникновения воспламенения метана и угольной пыли или сведения к минимуму моральные и материальные потери от вредных последствий взрывов.

Взрывозащита угольных шахт носит многоступенчатый характер. Она осуществляется путем выполнения мероприятий одновременно по трем направлениям:

- предупреждение воспламенений (вспышек и взрывов) газопылевоздушных смесей (первая и основная линия взрывозащиты);
- локализация или подавление взрывов и вспышек (вторая линия взрывозащиты);
- инструктивно-информационное (нормативно-правовое) и квалификационное обеспечение.

Рассмотрим эти направления

4.4.1 Концепция предупреждения воспламенений метана и угольной пыли

Прежде чем сформулировать общую концепцию предупреждения воспламенений метана и угольной пыли в шахтах рассмотрим производство как процесс, чреватый возникновением аварийных ситуаций, приводящих порой к непоправимым социальным, техническим и экономическим потерям (каждые 3 мин. в мире вследствие производственной травмы или профзаболевания умирает человек).

Представим производственный процесс как структуру, в которой взаимодействие блоков А и В приводит к аварийным ситуациям и катастрофам (рис. 4.2).

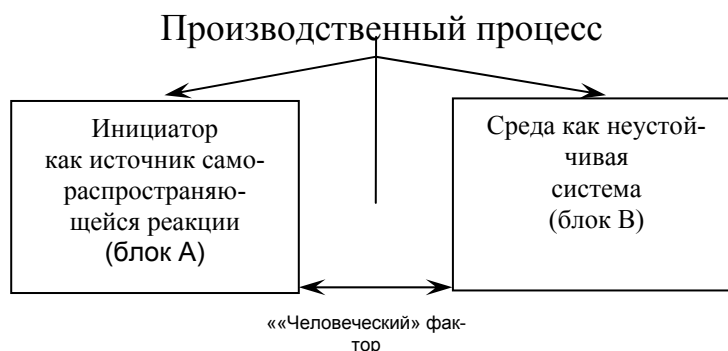


Рис. 4.2 Структура производственного процесса

Как видно из рис. 4.2, для создания аварийной ситуации необходимым и достаточным условием является согласованное во времени и пространстве образование взрывоопасной смеси и появления источника высокой температуры (источника ее воспламенения). В соответствии с этим существующий комплекс мероприятий по предупреждению воспламенения горючих смесей включает в себя как способы и средства снижения концентрации газа и пыли до взрывобезопасных пределов, так и способы и средства, направленные на устранение условий возникновения источников высокой температуры.

Поэтому предупреждение взрывов и вспышек в угольных шахтах осуществляется путем выполнения мероприятий одновременно по трем направлениям:

- исключение возможности образования взрывчатых сред;
- применение технологий шахтного и подземного строительства, машин и механизмов, исключающих возникновение источников воспламенения взрывоопасной смеси;
- применение специальных (дополнительных) систем предупреждения взрывов (предохранительной среды).

Первый принцип охватывает такие мероприятия, как:

- внедрение более прогрессивных технологий строительства горных выработок, сводящих к минимуму потери полезного ископаемого и газовыделение;
- организация такого режима проветривания горных выработок, который исключил бы образование взрывоопасных скоплений метана и т.д.

Вплоть до начала XX века на шахтах существовала профессия газожег. Рабочий этой специальности в буквальном смысле играл с огнем - он факелом сжигал в верхних частях выработки скопления метана. Форма спецодежды у газожега была особой: перед входом в выработку он надевал обильно смоченный водой, вывернутый наизнанку овчинный тулуп, меховые рукавицы и шапку. Передвигаясь ползком, он держал в вытянутой руке шест с горящим факелом или открытую бензиновую лампу, которыми поджигал метан в верхних частях выработки. Метан выгорал и таким образом выработки очищались от горючего газа и новая смена шахтеров приступала к работе. Но часто метан не сгорал, а взрывался. В этом случае газожег уже не выходил на поверхность.

Пути реализации первого принципа будут подробно рассмотрены вами при изучении специальных дисциплин.

Однако в условиях существующей технологии проведения горных выработок нельзя гарантировать полную безопасность работ в рамках реализации первого принципа. В частности, не всегда возможно предотвратить аварийные отключения электроэнергии, влекущие за собой остановку вентиляторов местного проветривания. Кроме того, в настоящее время в связи с переходом горных работ на глубокие горизонты и интенсификацией производственных процессов в угольных шахтах возросло метановыделение, что сопряжено с повышенной опасностью взрывов газопылевоздушных сред.

Добыча угля в Донбассе может осуществляться в настоящее время в основном за счет освоения глубоких горизонтов. Большинство шахт Донбасса ведут горные работы на глубинах 600...1400 м. Статистика газообильности шахт показывает, что 58,8% угольных шахт Донбасса относится к III категории и сверхкатегорным. Большинство действующих шахт разрабатывают пласты, опасные по взрывам пыли. Средний дебит метана в угольных шахтах составляет в настоящее время 50 м³/мин. Давление газа в угольных пластах достигает 60 кгс/см² (6 МПа) и зависит от глубины их залегания. Наиболее газоносны антрациты и коксующиеся угли, наименее газоносны угли с высоким содержанием летучих веществ (газовые и длиннопламенные).

Пыль образуется особенно интенсивно при взрывных работах и при работе машин и механизмов, а также при транспортировке угля.

Горючие газы и угольная пыль в смеси с воздухом могут образовывать, как уже отмечалось, взрывчатые системы, способные воспламеняться от внешних источников.

С углублением горных работ наряду с газообильностью значительно возросла выбросоопасность угольных пластов, в том числе количество выбросов интенсивностью более 500 т (до 14000 т). Причем около 60% всех выбросов происходит в подготовительных выработках.

Кроме того, повысилась частота и интенсивность других опасных проявлений.

Все это объективно создает дополнительные предпосылки для возникновения аварий и предъявляет все более высокие требования к мероприятиям, направленным на обеспечение безопасности горного производства.

Поэтому в горной промышленности обязательно осуществляется целый комплекс мероприятий, базирующихся на втором принципе, направленном на предотвращение возникновения тепловых импульсов, способных инициировать горение твердых материалов или воспламенить случайно образовавшуюся взрывчатую среду. Помимо открытого пламени такие импульсы воспламенения создают электрические разряды, нагретые твердые тела, ударные волны и т.д.

В рамках второго принципа в шахтах, опасных по газу и пыли, применяется только взрывобезопасное электрооборудование, проводится строгое регла-

ментирование буровзрывных и сварочных работ, осуществляется систематический контроль за состоянием работы всех шахтных механизмов и машин и т.д.

Вместе с тем специфика горных работ не всегда в состоянии исключить образование взрывоопасной среды и появление импульсов, способных воспламенить ее. В этих случаях безопасность технологических процессов обеспечивается в рамках третьего принципа. Он сводится к созданию предохранительной среды, т.е. к применению специальных (дополнительных) систем предупреждения взрыва, способных обеспечить взрывозащиту выработки даже при не соблюдении первого и второго принципов, т.е. при наличии взрывоопасной смеси и источника воспламенения.

4.4.2 Техническая сущность процесса локализации и подавления взрывов

Анализ обстоятельств возникновения аварий показывает, что в ряде случаев те или иные профилактические мероприятия выполняются с грубыми нарушениями установленных требований или вообще игнорируются.

В том и другом случаях качество и пунктуальность соблюдения предписанных правил и норм техники безопасности определяется уровнем квалификации рабочих, в том числе мастеров-взрывников и ИТР, а также состоянием трудовой дисциплины на шахте.

Помимо этого существует ряд других факторов, снижающих безопасность горных работ. Так постоянное выполнение одних и тех же приемов и операций по предупреждению воспламенения горючих смесей, вероятность которого относительно невелика, притупляет чувство ответственности исполнителей, создает у них иллюзию безопасности работ при частичном соблюдении комплекса предписанных правил. При этом в целях экономии времени нередко сознательно не выполняются наиболее трудоемкие мероприятия, предусмотренные ПБ и ЕПБ, как необязательные с точки зрения рабочих (мастеров-взрывников) и ИТР в конкретной обстановке забоя.

Кроме того, например, при взрывных работах имеют место случаи, когда предпосылки к возникновению аварии складываются в уже подготовленном к взрыву забое, после ухода мастера-взрывника в укрытие, в результате нарушения рабочего состояния профилактических средств. К таким ситуациям могут быть отнесены: вытеснение забойки из шпуров избыточным давлением газа, нарушение целостности водонаполненных сосудов и обрыв вентиляционной трубы вблизи забоя падающими кусками породы (угля) и т.д.

Таким образом, возникновение воспламенений в шахтах, опасных по газу или пыли, является результатом комплексного влияния целого ряда природных, технических, организационных и человеческих факторов.

Поэтому современная концепция взрывозащиты угольных шахт предусматривает наряду с мероприятиями по предупреждению воспламенения газопылевоздушных смесей, т.е. профилактических, применение так называемой второй линии взрывозащиты, т.е. системы локализации или подавления уже начавшихся взрывов.

Локализация взрыва - это способ обеспечения взрывобезопасности, состоящий в ограничении зоны развития воспламенения газопылевоздушных смесей вдоль выработки путем искусственного создания на пути распространения высокотемпературных продуктов взрывов (пламени) буферной среды заданной протяженности и с заданными теплофизическими свойствами.

Подавление взрыва - способ обеспечения взрывобезопасности, состоящий в подаче в очаг взрыва в начальный период его развития гасящих составов.

Система локализации и подавления взрыва включается в действие автоматически при возникновении очага горения газопылевоздушной смеси и предполагает установку пассивных заслонов и автоматических систем взрывоподавления по сети горных выработок.

Применение такого рода систем позволяет свести к минимуму зависимость уровня исполнения этой линии взрывозащиты от индивидуальных особенностей исполнителя, например, мастера-взрывника.

4.4.3. Иструктивно-информационное и квалификационное обеспечение

Технологическая схема горнодобывающего предприятия - это совокупность основных и вспомогательных производственных процессов в сочетании с необходимыми для их выполнения выработками, средствами механизации и автоматизации, обеспечивающая при рациональной организации работ безопасную и эффективную разработку месторождения.

Безаварийная работа угольных шахт зависит от множества технических, технологических и организационных факторов. Например, безопасность взрывных работ зависит от 38 разноплановых параметров, нарушения большинства из которых может привести к вспышке или взрыву пылегазовоздушных смесей.

Все аварии, в том числе вспышки и взрывы, начинаются там, где трудовой процесс не оптимизирован или нарушена оптимизация по тому или иному направлению.

Это означает, что безопасность горных работ можно обеспечить только путем оптимизации всего трудового процесса за счет составления инструкций и других нормативно-правовых документов, регламентирующих область применения данного технологического процесса, а так же условия и порядок его выполнения.

Поэтому еще в 1887 г. после ряда взрывов в угольных шахтах при производстве взрывных работ применение пороха в шахтах, опасных по газу, было запрещено специальным директивным документом.

В 1892 г. Министерство государственных имуществ России, куда входил горный департамент, выпустило специальные правила, в которых, в частности, указывались взрывчатые вещества, допускаемые в рудниках, находящихся на газовом положении.

В 1920 г. был издан первый в нашей стране сборник по технике безопасности (прототип действующих правил безопасности), который в 1924 г. был значительно переработан и дополнен рядом новых положений, основанных на

представительных результатах исследований, проведенных для условий Донбасса. Многие положения правил безопасности, заимствованные из зарубежных правил, в этом сборнике были уточнены и дополнены с учетом отечественной специфики.

В настоящее время нормативными документами, в которых оптимизирован весь процесс ведения горных работ, являются “Правила безопасности в угольных шахтах” (ПБ) и “Единые правила безопасности при взрывных работах” (ЕПБ).

Это основные правовые и инструктивные документы для ИТР, составленные на основании многолетнего опыта и с учетом особенностей, возможностей, и пределов человеческого организма. Если, например, современный шахматный компьютер способен производить 200 млн. операций в секунду, то 50 миллиардов нейронов мозга экс-чемпиона мира по шахматам Г. Каспарова способны только на 2 операции в секунду – при том, что он опережает по этой части едва ли не всех жителей планеты – есть масса простых людей, которые способны производить за несколько секунд одну операцию. Вот это и необходимо учитывать при разработке нормативных документов. Естественно, что в разных странах содержание этих документов различное из-за различия национальных черт.

Наряду с этими общими основополагающими нормативными документами на каждое допущенное в шахту средство (способ) по технике безопасности разрабатываются точные инструкции, в которых даются область и условия их применения.

Для рабочих различных профессий составлены с учетом требований действующих правил должностные инструкции.

Разработкой рекомендаций по безопасности, нормативных документов, способов и средств обеспечения безопасности работ в горной промышленности занимается МакНИИ.

Допуск к применению в шахтах новой техники и технологии, уточнение и изменение отдельных параграфов действующих правил, а также контроль за их соблюдением осуществляет Государственный департамент Украины по надзору за охраной труда (Госнадзорохрантруда Украины) и его территориальные управления (Донецкое, Луганское и Львовско-Волинское).

В представленной на рис. 4.2 интерпретации производственного процесса становится совершенно очевидной роль «человеческого фактора», главным образом инженера как руководителя различного уровня в предупреждении взрывов метана и пыли в угольных шахтах.

Она состоит в том, чтобы развести элементы производственного процесса и не дать возможности их неконтролируемого воссоединения (рис. 4.3).

На практике роль «человеческого фактора» в возникновении и развитии различного вида аварий по-прежнему весьма велика. Например, на авиавоздушном транспорте таких катастроф 80% от общего их числа. Воспламенения метана и пыли в отечественных угольных шахтах, обусловлены, как показывают результаты анализа, не столько несовершенством существующих средств техники безопасности, сколько несоблюдением правил безопасности, низкой эф-

фективностью исполнения и нарушениями технологической дисциплины. В результате безответственных действий обе структурные составляющие производственного процесса (А и В) могут оказаться в контакте, результатом которого будет взрыв (рис. 4.4).

Существенным организационным взрывозащитным мероприятием является разработка и введение в действие в 1994 г. нормативно-правового документа “Типовое положение о руководстве взрывных работ в угольных шахтах” (Макеевка-Донбасс, 1994г. - 16 с.).

Оно вводится с целью повышения эффективности и безопасности взрывных работ и устанавливает порядок технического руководства и контроля за ведением взрывных работ и сохранностью применяемых взрывчатых материалов (ВМ) в шахтах.

В этом нормативном документе дано распределение обязанностей между всеми структурными подразделениями угольной промышленности.

Общие положения документа:

а) на шахтах, в шахтостроительных управлениях руководство взрывными работами возлагается на руководителей этих предприятий.

По соглашению с территориальным органом Госнадзорхрантруда допускается руководство взрывными работами возлагать на главного инженера.

б) взрывные работы на шахтах проводятся участками взрывных работ (ВР).

На шахтах при количестве мастеров взрывников менее 20 и отсутствии участка ВР функции этого участка возлагаются на участок вентиляции и техники безопасности (ВТБ).

в) на шахтах, в шахтостроительных управлениях должны ежегодно составляться и осуществляться мероприятия по совершенствованию взрывных работ, направленные на повышение безопасности, которые утверждаются директором шахты.

Основные обязанности отдельных служб в части обеспечения взрывозащиты горных выработок:

а) участок, на котором проводятся взрывные работы, разрабатывает паспорта (проекты) БВР для каждого забоя в соответствии с ЕПБ и установленными нормами расхода ВМ, а также обеспечивает подготовку забоев (мест взрываний) к проведению ВР в полном соответствии с требованиями ЕПБ и утвержденными паспортами (проектами) БВР.

б) участок ВР обеспечивает безопасное производство взрывных работ, участвует в составлении режимов ведения взрывных работ, осуществляет внедрение мероприятий по совершенствованию взрывного дела, проводят анализ травматизма, обеспечивают ведение книг, журналов и другой отчетной документации.

в) техническая дирекция ПО (ГХК) осуществляет обеспечение всех предприятий необходимыми ВМ, взрывными и контрольно-измерительными приборами и другими принадлежностями взрывания, расследует случаи производственного травматизма при взрывных работах, обеспечивает разработку мероприятий по совершенствованию взрывного дела.

г) техническая служба шахты организует разработку и совершенствует горнотехническую документацию на ведение взрывных работ, а также изучение всеми лицами технического надзора ЕПБ и других нормативных документов по взрывным работам.

Корни большинства аварий кроются как в организационно-информационных и технических просчетах, так и в низкой квалификации ИТР по технике безопасности вообще и взрывозащите в частности, а также в просчетах методических подходов к проблемам без-



Рис. 4.3 Схематическое изображение производственного процесса как структуры, состоящей из независимых блоков: инициатор аварийной ситуации (блок А), производственная среда (блок В) и «человеческий фактор»

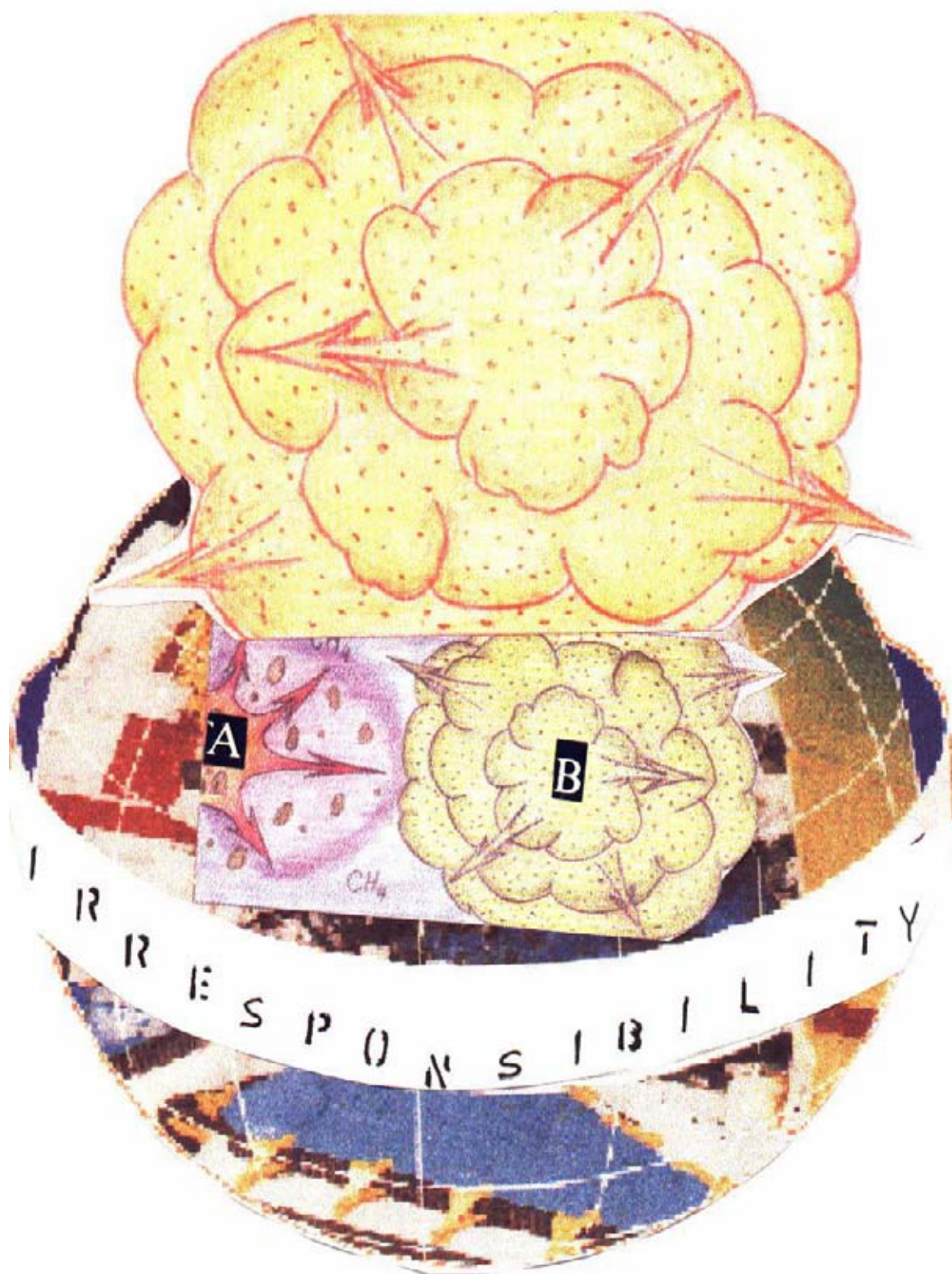


Рис. 4.4 Результат контакта по причине «человеческого фактора» составляющих производственного процесса А и В – взрыв (вспышка)

опасности в целом. Поэтому на каждой шахте еженедельно ведется расследование всех нарушений, допущенных ее работниками (так называемые “огоньки”, “кавээны”, “чистые четверги”), по результатам которого выносятся различного рода административные взыскания. Забастовочное движение 1994-1995 годов ликвидировало это мероприятие как антигуманное по его мнению. Однако жизнь показала ошибочность этой акции. Травматизм начал резко возрастать. Пришлось вновь возвратиться к старым проверенным формам наказаний за нарушение ПБ и ЕПБ, должностных инструкций.

В стране действуют всевозможные институты и курсы повышения квалификации ИТР по различным направлениям.

Однако все это не дает полных результатов. Причин много. Одна из них низкая базовая подготовка в высшей школе. Поэтому в целях повышения квалификации ИТР в 1996 г. была введена в цикл общего обучения дисциплина - “Взрывозащита горных выработок при их строительстве”, а также курсовой проект по безопасности и эффективности взрывных работ.

Относительно методологического подхода к проблеме безопасности в целом следует отметить следующее.

Недостатком существующих подходов к безопасности является то, что они основаны, прежде всего, на предположении, что если бы человек пытался строже относиться к предотвращению несчастных случаев, то их бы не было. Поэтому считается, что, если лицо пострадало, то, *ipso facto*, оно не пыталось сделать что-либо, оно беспечно, заслуживает порицания. Niselli and Brown, два хорошо известных исследователя несчастных случаев, заметили, что порицание личности затеняет суть несчастного случая. Например, произошла авария - вспышка метана, перешедшая во взрыв угольной пыли. Ставится вопрос: почему взорвалась пыль? Кто в этом виноват? Эксперт, сделав анализ состояния отложившейся угольной пыли, заявляет, что она взорвалась потому, что ее увлажнили, например, всего лишь до 16% вместо требуемого 17% и более. Виновны исполнители этого мероприятия. Но ведь не существует метода текущего контроля фактического состояния увлажненности!

Второй пример. Сейчас ведется насильственная политика замены ВВ IV класса ВВ V и VI классов, в т.ч. в породных забоях. Но ведь все знают, что при существующих правилах безопасности невозможно обеспечить необходимую эффективность отбойки, т.е. высокий КИШ. Поэтому рабочие, ИТР вынуждены в нарушение правил сознательно идти на все возможные отступления: сближают шпуры, пропускают больше одной серии замедления между взрывами смежных шпуровых зарядов и т.д.

Следовательно, наряду с инструктивно-информационным, нормативно-правовым и квалификационным обеспечением шахтеров необходимо разрабатывать новую более современную, безопасную технику и непрерывно совершенствовать существующую.

В последующих лекциях курса будут рассмотрены конкретные технические решения реализации всех принципов взрывозащиты угольных шахт и даны основные направления их совершенствования.

Контрольные вопросы и задания

- 1) Назовите пожалуйста причины возникновения процесса горения газопылевоздушных смесей
- 2) Сформулируйте тепловую теорию воспламенения МВС.
- 3) Что такое период индукции воспламенения?
- 4) Дайте характеристики цепного механизма воспламенения МВС.
- 5) Что такое “активные центры”?
- 6) Охарактеризуйте цепочно-тепловой механизм воспламенения.
- 7) Перечислите этапы исследования взрывчатости угольной пыли.
- 8) Сформулируйте механизм воспламенения пылевоздушных смесей.
- 9) Какова современная концепция взрывозащиты горных выработок?
- 10) Какие мероприятия применяются в шахтах по предупреждению воспламенений?
- 11) Какова роль «человеческого» фактора в предупреждении воспламенений газопылевоздушных смесей?
- 12) Что такое локализация взрыва?
- 13) Перечислите инструктивно-информационные мероприятия по взрывозащите угольных шахт.

ТЕМА 2. ОСНОВЫ ВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТИ УГОЛЬНЫХ ШАХТ, ЗАЛОЖЕННЫЕ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМАХ ГОРНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Основным звеном в многоступенчатом характере взрывозащиты угольных шахт является применение безопасных технологических схем проведения горных выработок и угледобычи. В идеальном случае основы взрывобезопасности угольных шахт должны быть заложены в самих технологических схемах горного предприятия, т.е. чтобы при выполнении основных и вспомогательных производственных процессов не только достигалась необходимая эффективность, но и одновременно обеспечивалась бы высокая безопасность.

Одним из основных технологических процессов при проведении горных выработок в угольных шахтах являются буровзрывные работы.

Несмотря на определенный прогресс в области обеспечения безопасности взрывных работ они по-прежнему продолжают оставаться одним из наиболее опасных видов работ в угольных шахтах, поскольку существующая технология и техника их выполнения не исключают возможности взрыва метана или пыли. Как уже подчеркивалось, на долю взрывных работ в шахтах Донбасса приходится около 36 % всех аварий, связанных со взрывами газа и пыли.

Поэтому в двух лекциях данной темы мы рассмотрим исходные предпосылки и технические средства обеспечения безопасности взрывных работ, т.е. рассмотрим приемы взрывозащиты, входящие в технологическую схему проведения горных выработок буровзрывным способом в шахтах, опасных по газу или разрабатывающих пласты, опасные по взрыву пыли.

Что касается приемов взрывозащиты, заложенных в других технологических процессах в угольных шахтах, то они рассматриваются при изучении специальных дисциплин, в т.ч. вентиляции, шахтного электрооборудования, шахтного транспорта, горных машин, строительства горных выработок и др. Вместе с тем основные принципы взрывозащиты горно-шахтного оборудования будут рассмотрены в последней теме курса.

Лекция 5. Причины воспламенения метана и угольной пыли при взрывных работах

5.1 Введение

Несмотря на достигнутый достаточно высокий уровень безопасности взрывных работ они по-прежнему остаются одной из основных причин вспышек и взрывов метана и угольной пыли в шахтах.

Повышенная опасность взрывных работ обусловлена в основном следующими факторами:

- внезапным (в течение нескольких секунд после взрывания шпуровых зарядов) выделением значительного количества метана (до 150 м^3 и более) и образованием тонкодисперсной угольной пыли (до 150 кг и более);
- разнообразием и повышенной воспламеняющей опасностью возможных источников воспламенения.

Рассмотрим более-менее подробно эти вопросы.

5.2 Пылегазовая обстановка в призабойном пространстве горных выработок при взрывных работах

5.2.1 Особенности метановыделения при производстве взрывных работ

Процесс выделения метана при разрушении газоносного горного массива посредством взрыва характеризуется рядом особенностей.

При короткозамедленном взрывании комплекта шпуровых зарядов в газоносном угольном пласте в течении коротких промежутков времени происходит отрыв, дробление и перемещение значительных объемов угольной массы с высвобождением сорбированного и свободного метана из раскрывающихся пор и трещин. Вследствие быстротечности процесса разрушения уже в ходе его начинается и быстро набирает темп метановыделение из отбитого и раздробленного угля. Разрушение угольного массива завершается в течении первой секунды после взрыва шпуровых зарядов. К этому времени часть выделившегося метана успевает перейти в атмосферу призабойного пространства. Причем интенсивность метановыделения, определяющая количество газа, выделившегося в указанный промежуток времени, зависит от газоносности угля, объема и степени дробления отбитой горной массы.

Наряду с этим следует отметить, что концентрация метана в выработке зависит не только от газовыделения, но и от количества воздуха, подаваемого в забой. Однако эффективное действие вентиляции отмечается только через минутные или, по крайней мере, через секундные интервалы времени после взрывания. В первые же миллисекундные периоды времени проветривание практически не влияет на содержание метана. Так, если количество воздуха, подаваемого к забою, составляет $60 \text{ м}^3/\text{мин}$, то за 100 мс поступит всего $0,1 \text{ м}^3$. Ясно, что такое количество воздуха не сможет практически снизить концентрацию метана в призабойном пространстве.

Изменение концентрации метана в призабойном пространстве выработки после взрывания шпуровых зарядов и при выбросе угля, породы и газа зависит от многих трудно учитываемых факторов. Поэтому изучение динамики изменения концентрации метана в призабойном пространстве горных выработок после взрывания производилось экспериментальным методом путем отбора газовых проб специальными (вакуумными, поршневыми и мембранными) автома-

тическими пробоотборниками с общим охватом времени до 720 с. Необходимый интервал замедления срабатывания пробоотборника задавался взрывом ЭД соответствующей серии замедления, а также кинематикой поршневого пробоотборника. Изоляция отобранной пробы обеспечивалась обратным клапаном.

Особое внимание уделялось пробам, набираемым через 0,05...0,50 с после подачи тока во взрывную сеть, т.к. они характеризуют изменение состава атмосферы в призабойной части выработки в процессе взрывания зарядов.

С помощью таких приборов было набрано в призабойном пространстве горных выработок с угольным, смешанным и породным забоями более 1000 проб газа, в том числе более 300 за период от 0,05 до 0,50 с после начала взрывания шпуровых зарядов и более 500 проб в секундные и минутные периоды времени.

Экспериментальные данные об изменении концентрации метана за различные периоды времени обработаны методом математической статистики. В таблице 5.1 приведены обобщенные данные изменения объемной доли метана в различные промежутки времени после начала взрывных работ у забоев выработок различной площади поперечного сечения на пластах с различной газоносностью (возможной на практике) в различных угольных бассейнах бывшего СССР.

Таблица 5.1

Газовая обстановка в призабойном участке тупиковых выработок при взрывных работах ВВ IV класса

Время начала набора проб газа после подачи тока во взрывную цепь, с	Расстояние от забоя до пробоотборника, м	Концентрация метана, %		
		минимальная	максимальная	средняя
1	2	3	4	5
0	0,2...6,0	0	0	0
0,15	0,5...6,0	0	1,0	0,37
0,10	0,5...6,2	0	1,9	0,49
0,20	0,3...6,2	0	1,2	0,43
0,25	0,2...2,5	0,4	1,0	0,84
0,50	0,2...9,3	0,7	4,2	2,32
1,0...5,0	0,8...26,0	0,8	43,0	7,00
6...10	0,8...25,0	0,2	10,0	1,67
11...15	0,8...25,0	0,2	10,0	2,15
16...25	1,0...25,0	0,2	11,0	2,04
26...40	1,0...25,0	0,8	13,0	4,19
30	2,0...10,5	0,3	9,0	2,65
45...60	5,5...32,4	0,5	20,0	3,46
180	2,0...32,4	0,4	12,0	4,99
300...360	2,0...32,4	0,5	14,0	4,92
480...540	2,0...32,4	0,4	13,0	4,58

Результатом экспериментальных исследований динамики концентрации метана при взрывных работах ВВ IV класса показывают следующее:

а) рост метановыделения наблюдается уже через 25 мс после подачи тока во взрывную сеть;

б) взрывоопасные концентрации метана в призабойном пространстве выработки при взрывных работах не образуются за период времени до 250 мс включительно, считая от начала подачи импульса тока во взрывную сеть (концентрация метана не превышает 1,9%);

в) через 270...520 мс после начала взрывания зарядов появляются вблизи забоя выработки угрожающие концентрации метана (концентрация метана в двух случаях превышала 2%, т.е. равнялась 2,5 и 4,2%).

Такое содержание метана при наличии небольшого количества взрывчатой угольной пыли может привести к образованию взрывоопасной среды в призабойном пространстве выработки.

Однако такая опасная среда образуется в отдельных случаях и в ограниченном объеме.

г) через 1...5 с после начала взрыва концентрация метана в призабойном пространстве может достигать взрывоопасного предела.

При существующих параметрах проветривания выработок взрывоопасные концентрации метана в призабойном пространстве могут удерживаться в течении нескольких минут, а в отдельных случаях до 10 мин. после производства взрывных работ.

При взрывных работах ВВ V и VI классов время начала образования угрожающих и взрывоопасных концентраций метана в 1,4 раза больше, чем при применении ВВ IV класса.

Состав рудничной атмосферы в призабойном пространстве выработки после взрывания изменяется также за счет увеличения концентрации углекислого газа, уменьшения кислорода выделения незначительного количества этана и образования ядовитых газов – оксидов углерода и азота.

Увеличение содержания углекислого газа обычно не превышает 1,5% и объясняется главным образом выбросом в выработку газообразных продуктов взрыва.

Концентрация кислорода в призабойном пространстве выработки снижается в течении сравнительно длительного периода времени (до 10 минут), но лишь в отдельных случаях она составляет менее 18...19%.

5.2.2 Особенности процесса пылеобразования при взрывных работах

Для получения количественной характеристики состава пылегазовых смесей в период разрушения и перемещения взорванного угольного массива применялись специальные автоматические пылеотборники, работающие на принципе отсечения части запыленной рудничной атмосферы.

Проведенные экспериментальные определения запыленности атмосферы призабойного пространства (пробы отбирались на расстоянии 0,5...5,0 м от за-

боя) позволили построить кривую изменения концентрации пыли во времени (рис. 5.1).

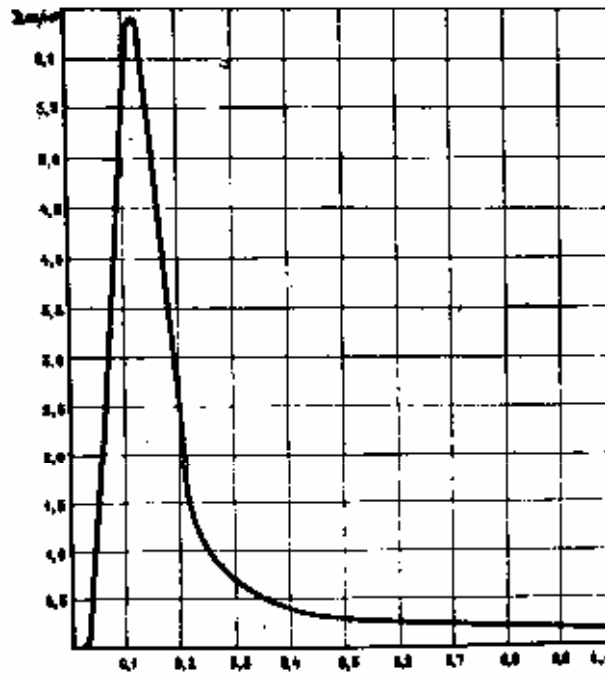


Рис. 5.1. Зміна концентрації вугільного пилу в привибійному просторі виробки (D) за час (t) після подачі електричного імпульсу в вибуховий ланцюг.

Как следует из полученных данных, в интервале времени 0,03...0,12 с после начала взрывания шпуровых зарядов наблюдается резкий скачек запыленности рудничной атмосферы призабойного пространства до величины равной $6,4 \text{ кг/м}^3$, затем концентрация резко падает до величины равной $2,5 \text{ кг/м}^3$ через 0,2 с после взрывания. После этого начинается ее плавное снижение до величины равной $0,3 \text{ кг/м}^3$ через 0,5 с и $1...2 \text{ г/м}^3$ через 3 мин. после взрывания.

Таким образом концентрация угольной пыли в призабойном пространстве составляет:

- через 0,12 с после взрывания $6,4 \text{ кг/м}^3$;
- через 0,20 с - $2,5 \text{ кг/м}^3$ (ВПВ);
- через 0,50 с - $0,3 \text{ кг/м}^3$;
- через 180 с - $1...2 \text{ г/м}^3$.

Вместе с тем анализ фракционного состава взвешенной угольной пыли показал, что в пылевоздушном облаке содержатся частицы размером как больше, так и меньше 1 мм. Причем содержание в ней наиболее взрывчатой тонкодисперсной фракции, составляет всего 2,5...4,0%.

Из этого вытекает очень важный практический вывод о том, что в процессе перемещения взорванной угольной массы вдоль выработки (в течение первой секунды после начала взрывания) взрывчатые фракции угольной пыли находятся в смеси со значительными массами невзрывчатых фракций и поэтому они не могут воспламениться от внешнего источника. Прямые эксперименты в под-

земной («водородной») штольне МакНИИ подтвердили это предположение: патрон-боевик из предохранительного ВВ IV класса, летящий в потоке угля, не воспламенял пылевоздушную смесь.

На основании этих данных общее время взрыва всего комплекта шпуровых зарядов в забое было установлено по метану - оно должно быть таким, чтобы к моменту взрывания последней серии замедление ЭД в призабойном пространстве выработки еще не образовалась бы взрывчатая метановоздушная смесь.

5.3 Источники воспламенения метана и угольной пыли при взрывных работах

Чтобы произошло воспламенение нужна и вторая составляющая взрывоопасной ситуации - источник воспламенения.

Анализ взрывов и вспышек метана и угольной пыли в шахтах показывает, что основными источниками воспламенения при ведении взрывных работ являются:

- детонирующий заряд ВВ - 59%;
- выгорающий заряд - 38%;
- искрение во взрывной сети - 2,0%;
- другие источники - 1%.

5.3.1 Характеристика детонирующего заряда ВВ как источника воспламенения

К наиболее мощным (наиболее агрессивным) источникам воспламенения относятся продукты детонации ВВ.

Наличие во взрываемом массиве трещин вблизи взрывааемых зарядов увеличивает опасность воспламенения взрывоопасной метано- и пылевоздушной смеси. Если трещины пересекают заряженную часть шпура и заполнены взрывоопасной средой, то при взрыве заряда пламя взрыва и горящие частицы могут распространиться по этим трещинам и воспламенить взрывоопасную метановоздушную смесь, расположенную на значительном удалении от забоя.

В 1977 г в 11-ом бутовом штреке 5-й зап. лавы пл. К7 шахты № 2 “Ганзовская” ПО “Макеевуголь” произошло воспламенение метана в результате взрыва шпурового заряда из угленита Э-6 массой 0,6 кг в условиях пересечения им трещин, заполненных метановоздушной смесью. Горение распространилось по трещине и было через 4 суток обнаружено в 12-ом бутовом штреке.

Обстоятельства этой аварии таковы.

5 октября в I смену посадчики начали выбивать органку по линии действия шпуров в 12 бутовом штреке. В результате этого обрушились породы (сланцы) и рабочие увидели перед собой пламя. Было три очага, причем один из трещины с раствором 20 мм на расстоянии 5 м от органки. В процессе тушения водяной струей (пыль инертная не помогла) пламя перебежало от одного места к другому. Слышался гул в массиве. Через 30 мин. очаг был ликвидирован. В результате осмотра было установлено, что породы по краям упомяну-

той трещины были обожженными на глубину до 10...15 см. Эта же трещина с аналогичным оттенком была обнаружена и в 11 бутовом штреке. Выяснилось, что здесь 1 октября произошло воспламенение метана после взрывных работ углеником Э-6, которое было потушено в призабойном пространстве. Сопоставление этих двух обстоятельств дает основание предполагать, что очаг горения в 11 бутовом штреке не был ликвидирован. Горение распространялось по трещине и было через 4 суток обнаружено в 12 бутовом штреке.

Характерный случай воспламенения метана, свидетельствующий о недостаточном уровне предохранительности ВВ V класса, при взрывании в трещиноватом массиве, произошел в 1981 г. на ш. им. Ленина ПО "Ворошиловградуголь". Взрывные работы производились в нише 8-й вост. лавы пласта мощностью 1,7 м. Взрывали три ряда шпуровых зарядов (всего 13 шпуров). Применяемое ВВ - угленик Э-6, масса заряда 0,6 кг на шпур. В качестве забойки использовали полиэтиленовые ампулы с водой. Поскольку ниша находилась в зоне опорного давления на массив угля, через забой ниши проходили трещины, сообщающиеся с выработанным пространством. В трещинах находилась взрывоопасная метановоздушная смесь. После взрывания произошла вспышка метана, которая по указанным трещинам распространилась к скоплению метана в выработанном пространстве. В результате этого произошло повторное воспламенение метана, которое удалось ликвидировать только через 1,5 суток.

Продукты детонации как источник воспламенения зарегистрированы не только при взрывании ВВ в шпурах, пересеченных сквозными трещинами, но и при взрывании шпуровых зарядов в монолитном не трещиноватом массиве.

Эмпирическое соотношение для расчета массы заряда, при которой ожидается 50% воспламенений метановоздушной смеси, для зарядов в канале мортитры без забойки (прямое инициирование) (погрешность расчета составляет не более 20 %) имеет вид:

$$m_{(so)} = 3,035 \cdot 10^{19} q^{-5} (\beta - 0,435\beta^2)^{-3}, \text{ г}, \quad (5.1)$$

$$\text{где } \beta = \frac{D}{0,063 \rho_{зар}^{0,7} \sqrt{q}},$$

где q - расчетная удельная теплота взрыва при воде парообразной, кДж/кг;

D - скорость детонации, км/с;

$\rho_{зар}$ - плотность заряда, г/см³.

При обратном инициировании полученное по уравнению (5.1) значение $m_{(so)}$ уменьшают в 2,2...2,5 раза.

По значению $m_{(so)}$ можно рассчитать значение предельной массы заряда

$$m_{пр} = 0,61 m_{(so)} \quad (5.2)$$

25.09.69 взрыв угольной пыли произошел в забое разреза пл l_6 на сопряжении с конвейерным штреком в шахте № 15 им Ворошилова треста "Первомайскуголь". Источник воспламенения - продукты детонации угленика Э-6. Погибло 3 горняка.

В 1964 г взрыв метана произошел при производстве сотрясательного взрывания в откаточном штреке шахты № 1 “Капитальная” комбината “Воркутауголь”. Причина – наличие открытого пламени при взрыве ВВ IV класса.

29.04.69 взрыв газа и пыли произошел при ведении взрывных работ в забое ската в шахте “Скальная” № 1 треста “Кизелуголь”. Источник – продукты детонации ВВ (на 6 шпуров было израсходовано 9 кг ВВ, причем проходчики сами проводили взрывание), погибло 4 горняка. Все находились на исходящей струе в 22 м от места взрывания.

Широкая распространенность детонирующего заряда как источника воспламенения определяется его повышенной агрессивностью, обусловленной совокупным действием следующих факторов:

- высокая температура продуктов взрыва;
- значительный размер пламени взрыва;
- наличие в газообразных продуктах взрыва раскаленных и горящих частиц ВВ и ЭД;
- наличие в продуктах взрыва оксида углерода, водорода и других горючих газов;
- наличие в продуктах взрыва диоксида азота - положительного катализатора;
- наличие в продуктах взрыва активных центров;
- способность детонирующего заряда воспламенять МВС через инертную преграду.

Рассмотрим вкратце эти факторы.

а) высокая температура продуктов взрыва.

Как известно, температура взрыва аммонала скального № 1 равна 3520°C, аммонита Т19 - 2230°C, угленита Э-6 - 1790°C (критическая температура воспламенения МВС равна 650°C)

б) значительный размер пламени взрыва шпурового заряда ВВ.

Проведенные ночные съемки процесса взрыва 0,4кг ВВ в стальной мортире показали, что у всех ВВ II, IV, V и VI классов наблюдается свечение продуктов взрыва у устья мортиры. Причем, объем пламени возрастает со снижением уровня предохранительности ВВ, а именно: от 0,06 м³ (в случае угленита Э-6) до 113 м³ (в случае детонита М).

в) вместе с газообразными продуктами взрыва из шпура выбрасывается частицы аммиачной селитры и других компонентов ВВ, раскаленные частицы спрессованного угольного штыба (угольные конгломераты), раскаленные металлические частицы и шлака от сгоревшего замедляющего состава (остатков взрыва ЭД). Кроме того, при взрывании наблюдается обильное искрение.

Ночные съемки показали, что при взрывании аммонита Т-19 и 6ЖВ, а также детонита М поток горящих и раскаленных частиц достигает высоты равной 23 м и более.

Эти частицы способны поджечь легковоспламеняющиеся материалы в призабойном пространстве, что может привести к взрыву МВС, а также увеличить время воспламеняющего действия продуктов взрыва.

г) наличие в продуктах взрыва заряда ВВ оксида углерода и других горючих газов.

Оксид углерода - горючий газ, область взрываемости которого равна 12,8...75,0%.

При смешении с воздухом продуктов взрыва, содержащих оксид углерода, может образоваться вторичное пламя с более длительным временем действия, чем сами продукты взрыва. Кроме того, наличие оксида углерода и водорода в рудничной атмосфере расширяет область взрываемости метановоздушной смеси.

д) наличие в продуктах взрыва диоксида азота (NO_2) – положительного катализатора.

Исследованиями многих ученых доказано, что диоксид азота в реакции окисления метана играет роль положительного катализатора. Он значительно ускоряет реакцию воспламенения метана, сокращает период индукции, уменьшает критическую температуру воспламенения на 150..250°C.

Механизм действия диоксида азота, сводится к реакции распада с выделением атомарного кислорода $\text{NO}_2 \rightarrow \text{NO} + \text{O}$.

е) наличие в продуктах детонации ВВ активных центров.

Это приводит к тому, что процесс воспламенения может начаться практически без задержки независимо от температуры продуктов взрыва (время индукции окажется очень малым или даже равным нулю).

ж) способность воспламенять МВС через инертную преграду.

Детонирующий заряд может воспламенять МВС не только тогда, когда он взрывается непосредственно во взрывчатой смеси, но и в случае, когда между зарядом и взрывчатой смесью расположена инертная преграда, например воздух. Подробно этот процесс рассмотрен в лекции 2.

В качестве критерия дистанционного воспламенения взрывоопасной смеси в данном случае принят критический радиус (R_k) - минимальная толщина воздушной оболочки (преграды), через которую взрыв заряда ВВ не воспламеняет взрывоопасную смесь.

$$R_k = 5,0 \cdot 10^{-6} \cdot \sqrt{Q_t}, \text{ м}, \quad (5.3)$$

где Q_t – количество теплоты, выделяющейся при взрыве (тепловая мощность взрыва), Дж/с.

Экспериментальные значения R_k :

взрыв патрона аммонита ПЖВ-20 массой 200 г - 0,45 м;

-//- 300 г - 0,60 м;

-//- 900 г - 1,00 м;

взрыв патрона аммонита 6ЖВ массой 200 г - 0,70 м;

-//- 400 г - 0,90 м;

-//- 600 г - 1,10 м;

взрыв патрона детонита 10А массой	200 г - 0,80 м;
-//-	400 г - 1,00 м.

Вместе с тем анализ выполненных экспериментов показывает, что увеличение критического радиуса с возрастанием теплоты, выделяющейся в единицу времени (Q_t), наблюдается только до определенного предела. При превышении критерием Q_t определенного значения рост R_k прекращается. Предельное значение критического радиуса равно 1,25...1,60 м.

В 1981 г в забое 1-го сев. вент. ходка пл И-3-1 гор 490 м шахты “Ореховская” ПО “Краснодаруголь” при взрывных работах произошла вспышка метана. Наиболее вероятным источником воспламенения явились продукты детонации заряда аммонита Т-19 массой 0,6 кг в верхних оконтуривающих шпурах при некачественной забойке. При взрыве заряда произошло воспламенение в куполе высотой до 0,7 м (устья шпуров отстояли от закрепного пространства перед взрыванием на 0,3..0,6 м). Все деревянные стойки в закрепном пространстве между 1-й и 2-й рамами были осмалены, кора обгорела и начала гореть древесина, часть распила сгорела. После выделения метана из отбитой горной массы и образование взрывоопасной смеси с воздухом воспламенение из закрепного пространства передалось в призабойное. В последующем горение поддерживалось у забоя выработки за счет выделяющегося из открытой поверхности пласта метана (по типу горелки - забой выработки выше отбитой горной массы был обожжен (породы были кирпичного цвета)).

Задача 5.1 Рассчитать критический радиус воспламенения МВС через воздушную преграду взрывом заряда детонита М, аммонита Т-19 и одной нитки ДШ. Параметры этих зарядов приведены в табл. 5.2.

Таблица 5.2
Параметры зарядов ВВ.

№ задачи	Тип ВВ	$m_{зар}$, кг	$d_{зар}$, мм	$l_{зар}$, м	D , м/с	q , Дж/кг
5.1.1	Детонит М	0.9	70	0.20	5640	$57.86 \cdot 10^5$
5.1.2	Аммонит Т-19	0.3	36	0.25	3650	$34.08 \cdot 10^5$
5.1.3	ДШ	0.05	6	0.70	6500	$0.767 \cdot 10^5$

Решение

Задача 5.1.1.

Определяем теплоту взрыва

$$Q = m_{зар} \cdot q = 0,9 \cdot 57,86 \cdot 10^6 = 52,07 \cdot 10^5 \text{ Дж}$$

Определяем тепловую мощности

$$Q_t = \frac{Q \cdot D}{l_{\text{зар}}} = \frac{52,07 * 10^5 * 5640}{0,20} = 14,685 * 10^{10} \text{ Дж} / \text{с}$$

Определяем критический радиус

$$R_k = 5,0 * 10^{-6} \sqrt{14,685 * 10^{10}} = 0,5 * 3,834 = 1,91 \text{ м}$$

Полученное значение превышает предельную величину. Поэтому фактически критический радиус будет равен 1,25...1,60 м.

Задача 5.1.2

$$Q = 0,3 * 34,08 * 10^5 = 10,22 * 10^5 \text{ Дж}$$

$$Q_t = \frac{10,22 * 10^5 * 3650}{0,25} = 1,49 * 10^{10} \text{ Дж} / \text{с}$$

$$R_k = 5 * 10^{-6} \sqrt{1,49 * 10^{10}} = 0,5 * 1,22 = 0,61 \text{ м}$$

Задача 5.1.3

$$Q = 0,05 * 0,767 * 10^5 = 3,835 * 10^3 \text{ Дж}$$

$$Q_t = \frac{3,835 * 10^3 * 6500}{0,70} = 35,61 * 10^6 \text{ Дж} / \text{с}$$

$$R_k = 5 * 10^{-6} \sqrt{35,61 * 10^6} = 5 * 10^{-3} * 5,967 = 0,03 \text{ м}$$

Это означает, что ДШ обладает пониженной агрессивностью в отношении воспламенения МВС. Экспериментально установлено, что при окружении даже 25 ниток ДШ (общий диаметр пучка 33 мм) взрывоподавляющим порошком ПСБ-ПМ МВС не воспламеняется при толщине оболочки равной всего 6 мм. Воспламенение (на втором опыте) с этой оболочкой получено только при 50 нитках ДШ (общий диаметр пучка был равен 47 мм).

5.3.2 Характеристика выгорающего заряда ВВ как источника воспламенения

Важной характеристикой воспламеняющей способности любых источников воспламенения является длительность его действия и время контакта его с одним и тем же объемом взрывоопасной смеси. Так, например, раскаленные твердые частицы ВВ и ЭД, пролетающие сквозь взрывную камеру с определенной скоростью, не воспламеняют метановоздушную смесь, хотя температура их нагрева превышает температуру вспышки смеси и в неподвижном состоянии они являются достаточно надежными источниками воспламенения.

По данным ВостНИИ, наименьшей длительностью действия отличается ударная волна ($10^{-7} \dots 10^{-3}$ с), весьма малым временем действия характеризуются

продукты детонации и электрические искры ($10^{-6} \dots 10^{-2}$ с), более длительное время действуют фронт пламени взрыва метана и угольной пыли ($10^{-4} \dots 1$ с).

К источникам воспламенения МВС, характеризующихся длительным, измеренным секундами и минутами, действием, следует, прежде всего, отнести выгорающий заряд ВВ.

Скорость горения ВВ зависит от их свойств и давления в зарядной полости и колеблется в пределах от нескольких сантиметров до сотен метров в секунду.

Поэтому процесс выгорания может длиться от нескольких секунд до нескольких минут. Известны случаи, когда продолжительность процесса выгорания исчислялась десятками минут.

Времени выгорания заряда ВВ достаточно, чтобы из отбитого угля выделился метан в количестве, способном образовать в призабойном пространстве взрывоопасную смесь. Поэтому взрыв метана может произойти даже в том случае, когда перед взрыванием зарядов в выработке была нормальная газовая обстановка.

Другим опасным последствием выгорающего заряда ВВ является то, что выгорание может вызвать пожар в результате загорания измельченного угля.

Известны случаи пожаров от выгорающего заряда ВВ не только в газовых, но и негазовых шахтах.

В связи с этим выгорания опасны при взрывных работах в любых условиях.

Наконец, горящий заряд может оказаться вместе с отбитой горной массой на значительном расстоянии от забоя, где рудничная атмосфера может оказаться более взрывоопасной, чем у забоя.

Например, 1966-1972 гг. в угольных шахтах было зарегистрировано 55 выгораний, из них 10 с угленитом Э-6 и 45 - с аммонитом ПЖВ-20. Причем, из 10 выгораний угленита Э-6 только один случай имел место в породном забое.

Характерный случай воспламенения метана, связанный с выгоранием ВВ, произошел в августе 1982 г в шахте “Вергелевская” ПО “Стахановуголь”. Взрывные работы проводили в промежуточном штреке № 2 пл L3 с целью образования ниши для электроаппаратуры. За один прием взрывали 8 шпуровых зарядов в шпурах глубиной 1.2 м. Применяемое ВВ – угленит Э-6. В результате сближения двух шпуров, расстояние между которыми у дна составило 0,27 м, в одном из них произошло выгорание, что привело к вспышке метана. После осмотра забоя в шпуре обнаружены остатки выгоревшего заряда и следы окисовавшегося вокруг него угля.

По причине выгорания заряда ВВ в угольном забое (из-за переуплотнения сближенных зарядов) 07.12.65 произошел взрыв газа и пыли в западном откаточном штреке пл h 10 гор 600 м в шахте № 2 треста “Ленинуголь”. Метан взорвался через 20 мин после проведения взрывания. Пострадало более 20 горняков.

Характерный случай произошел в ш. им. Мельникова ПО “Лисичанск-уголь”. После взрывания зарядов в угольном забое мастер-взрывник обнаружил горение угленита Э-6 в стакане одного из шпуров. Горевший патрон оказался

патроном-боевиком, в котором были обнаружены остатки неполностью сдетонировавшего электродетонатора ЭДКЗ-ПМ.

Выгорание ЭД с заводским браком и части шпурового заряда аммонита Т-19 явилось источником взрыва метана, происшедшего 05.06.81 в 27-ом вентиляционном ходке шахты “Молодогвардейская” ПО “Краснодонуголь”.

Выгорание аммонита Т-19 из-за образования в шпуре в процессе заряжания разрывов между отдельными патронами явилось источником воспламенения МВС, вызвавшей взрыв угольной пыли, 23.05.85 в II-м северном промштреке пл к8 в шахте № 1 ш/у “Новогородовское” ПО “Селидовуголь”.

Особое значение при расследовании аварий имеет выявление признаков выгорания ВВ. Наиболее объективным из них является наличие шлака на стенках шпура (стакана), а также в несдетонировавших патронах, обнаруженных в «стаканах» (шпурах) и в отбитой горной массе. Шлак представляет собой характерную корку, цвет которой зависит от типа ВВ и состава окружающего массива. Шлак ВВ однозначно идентифицируется путем лабораторного анализа по уменьшению содержания в нем горючих компонентов ВВ.

Обугленную бумажную оболочку патронов не всегда следует считать признаком выгорания ВВ, поскольку обугливание бумаги может быть результатом воздействия горячих продуктов взрыва сдетонировавшей части заряда. Обугливание оболочки и, больше того, образование тонкого слоя шлака в патронах, найденных в отбитой горной массе, может иметь место также в результате термического воздействия воспламенившихся метана и угольной пыли. Поэтому при решении вопроса было ли выгорание в шпуре данного патрона необходимо принимать во внимание, в какой степени обожжены воспламенением метана или пыли другие предметы, находящиеся вблизи от указанного патрона.

Остатки гильз ЭД с невзорвавшимися ВВ могут свидетельствовать о выгорании шпурового заряда. Косвенными признаками выгорания ВВ могут быть большие «стаканы».

Наличие установленного опросами свидетелей и другим путем промежутка времени между взрыванием зарядов ВВ и взрывом метана (пыли) свидетельствуют о возможности воспламенения метана выгорающим ВВ.

5.3.3 Опасность искрения во взрывной сети

На практике воспламенения от искрения во взрывной сети возникают в основном из-за использования запрещенных источников тока (светильников, пускателя и др.).

Вместе с тем воспламенение может произойти и при применении допущенных для взрывных работ взрывных приборов.

Как известно, применяющиеся в угольных шахтах взрывные приборы подают электрический импульс во взрывную цепь в течении 2...4 мс (меньше нельзя, т.к. будут отказы). При такой длительности исключается возможность воспламенения смеси при разрыве детонаторных проводов в результате взрыва ЭД. Однако, если перед взрыванием во взрывной сети будут иметь место искровые промежутки (неплотные соединения проводов), то штатные взрывные

приборы (ПИБ-100 м и КВП-1 также надежно воспламеняют стехиометрическую МВС.

5.3.4 Другие виды источников воспламенения:

а). воспламенение метановоздушной смеси может произойти в результате электризации проводников ЭД и металлических частей их гильз, летящих в потоке взорванной горной массы;

б). в последнее время получила распространение гипотеза воспламенения МВС ударной волной, обеспечивающей разогрев взрывной смеси, авторы которой, основываясь на ряде подробных исследований, сделали вывод, о возможности воспламенения МВС УВ взрыва без участия других источников воспламенения, действующих при взрыве.

Воспламеняющие действия ударных волн реализуются при скоростях более 1250...1350 м/с, что соответствует температуре за фронтом ударной волны более 500°C.

в). электростатически заряженные аэрозоли.

Почти всякое тонко измельченное вещество, поднятое в виде облака пыли потоком воздуха, сообщает электрический заряд как самой пыли, так и воздуху.

На практике оказалось, что при наличии пыли легко могут скопиться в потоке аэрозолей заряды с напряжением, превышающим опасный предел - 10000В. Причем, например, на движущихся угольных пылевых частицах возникают положительные заряды.

Поэтому при разрушении практически всех горных пород, в том числе взрывом, и разбрызгивании жидкостей происходит электризация образующихся аэрозолей. От так называемых “грозовых облаков” известны самопроизвольные взрывы на фабриках, перерабатывающих различные вещества, особенно органического происхождения. Так, например, из 65 взрывов пыли, происшедших в 1928-1930 гг. в Германии, в 38 случаях взрывы происходили от заряда статического электричества, возникшего в самой пыли.

Происходили взрывы и в танках нефтеналивных судов при мойке их с помощью брандспойтов.

Электрически заряженные пылевые и водные потоки вызывают опасения в отношении воспламенения пылевоздушных смесей в угольных шахтах. В глубоких шахтах в условиях роста пылеобразующей способности угля и снижения влажности массива и воздуха такая опасность возрастает.

В США произошел такой случай. В наклонной выработке сорвалась вагонетка с углем. При ударе ее о “быка” произошел взрыв угольной пыли. Причины этого взрыва не установлены. В то же время можно предположить, что во время падения вагонетки и удара ее о стенки выработки поднялась отложившаяся угольная пыль. Образовавшаяся пылевоздушная смесь могла воспламениться от заряда статического электричества, возникшего в самой пыли.

Однако реальность такого источника при взрывных работах пока экспериментально не доказано. Большинство исследователей (специалистов) высказываются на этот счет отрицательно.

Контрольные вопросы и задания

- 1) Назовите особенности пылеобразования при взрывных работах.
- 2) Назовите особенности метановыделения при взрывных работах.
- 3) Перечислите источники воспламенения при взрывных работах.
- 4) Чем обусловлена повышенная опасность детонирующего заряда ВВ?
- 5) Чем обусловлена повышенная опасность выгорающего заряда ВВ?
- 6) В каком случае возможно воспламенение от искрения во взрывной сети?
- 7) Перечислите другие источники воспламенения при взрывных работах.
- 8) Что такое «электрозаряженные аэрозоли»?

ЛЕКЦИЯ 6. ОСНОВЫ БЕЗОПАСНОСТИ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ В ШАХТАХ, ОПАСНЫХ ПО ГАЗУ ИЛИ ПЫЛИ

Безопасность – свойство системы существовать, не переходя в опасное состояние.

Угроза – потенциальная возможность перехода системы в опасное состояние под влиянием внесистемных и внутрисистемных воздействий на ее элементы, их отношение или связи.

Факторы угрозы и безопасности – соответственно характеристики способности события или условия оказывать воздействие на элементы или связи системы, нарушая ее существование или повышая ее стабильность.

Большинству иницирующих условий присуща двойственная природа, при различных параметрах воздействия они могут проявлять себя как факторы угрозы или как факторы безопасности.

6.1 Введение

В данной лекции рассмотрим основы безопасности, заложенные в современной технологии взрывных работ в шахтах, опасных по газу или разрабатывающих пласты, опасные по взрыву пыли.

В настоящее время безопасная буровзрывная технология строительства горных выработок базируется на применении следующих основных технических средств, технологических параметров и организационных мероприятий:

- а) предохранительных ВВ (с уровнем предохранительности в зависимости от условий взрывания) с нулевым кислородным балансом, выделяющих при взрыве не более 80 л/кг условной окиси углерода;
- б) предохранительных ЭД мгновенного и короткозамедленного действия с повышенной иницирующей способностью, подобранных по сопротивлению;
- в) конденсаторных взрывных приборов с механической блокировкой длительности подачи электрического тока во взрывную сеть равной 2...4 мс;
- г) контрольно-измерительных приборов специальной конструкции с величиной тока, поступающего в измерительную цепь, не более 50 мА;
- д) короткозамедленного взрывания;
- е) забойки шпуров;
- ж) камуфлетного способа взрывания скважинных зарядов ВВ;
- з) специального режима ведения взрывных работ;

Техническая сущность первых четырех из перечисленных мероприятий была подробно рассмотрена в курсе "Разрушение горных пород взрывом". Поэтому в данной лекции подробно остановимся на принципах обеспечения безопасности взрывных работ посредством других из перечисленных приемов взрывозащиты.

6.2 Технологические параметры безопасности короткозамедленного взрывания шпуровых зарядов ВВ

Основными параметрами, определяющими условия безопасного применения короткозамедленного взрывания в шахтах, опасных по газу или разрабатывающих пласты, опасные по взрывам пыли, являются:

- общее время взрыва всего комплекта шпуровых зарядов ВВ в забое;
- интервал замедления между взрывами смежных шпуровых зарядов;
- расстояние между шпуровыми зарядами;
- расстояние зарядов ВВ до открытой поверхности.

Рассмотрим эти параметры.

а) общее время взрыва всего комплекта шпуровых зарядов в забое, т.е. время замедления взрывания последней ступени ЭД с учетом разброса по времени срабатывания. Это время должно быть таким, чтобы в процессе взрывания шпуровых зарядов ВВ не образовывалась взрывчатая метановоздушная смесь.

В настоящее время оно принято равным:

не более 220 мс - при применении ВВ III и IV классов,

не более 320 мс - при применении ВВ V и VI классов.

Основы этого параметра мы рассмотрели на предыдущей лекции.

б) расстояние между шпуровыми зарядами ВВ.

Важнейшим показателем, влияющим на безопасность и эффективность взрывных работ, является устойчивость детонации ВВ.

В тоже время разновременное взрывание зарядов ВВ, в том числе с миллисекундными интервалами между отдельными взрывами, может при определенных условиях отрицательно воздействовать на соседние шпуровые заряды ВВ, взрывающиеся в последующих сериях. Например, число неполных детонаций даже неперехранительных ВВ II класса в породных и угольных забоях в шахтах Донбасса довольно велико. Исследования МакНИИ показали, что одной из основных причин неполных детонаций и выгорания является уплотнение ВВ соседними, ранее взорвавшимися, зарядами при расстоянии между зарядами менее 0,5...0,6 м. Опытами установлено, что, например, аммонит 6 ЖВ в мягких породах дает неполные детонации при расстоянии между зарядами до 40 см, в породах средней крепости - до 30 см и в крепких - до 20 см. Почти все затухания наблюдались на стыках между патронами. Скальный аммонал № 1 не давал затуханий детонации.

Отрицательные воздействия взрыва шпуровых зарядов на сближенные соседние шпуровые заряды, взрывающиеся с замедлением, являются основными технологическими причинами выгорания шпуровых зарядов ВВ. К ним относятся:

- переуплотнение патронов ВВ до плотности выше критической (остаточное давление в соседних шпурах достигало 30 мПа);

- раздвижка патронов в шпуре вплоть до выбрасывания патрона-боевика из шпура (средняя способность выбрасывания равна 3,8 м/с, максимальная - 10 м/с);
- образование угольных и породных пересыпок между отдельными патронами за счет откольных явлений.

Максимально допустимые расстояния между шпуровыми зарядами ВВ (a_{\min}), при которых исключается переуплотнение патронов ВВ от воздействия взрыва одного заряда на другой (установлены экспериментальным путем) приведены в табл. 6.1.

Таблица 6.1

Минимально допустимые расстояния между шпуровыми зарядами

Условия взрывания	a_{\min} (в м) в зависимости от класса ВВ			
	II	III-IV	V	VI
По углю	0,6	0,60	0,5	0,40
По породе: При f менее 7	0,5	0,45	0,3	0,25
При $f = 7 \dots 10$	0,4	0,30	—	—

По породам при $f > 10$ a_{\min} должно определяться нормативами, согласованными с МакНИИ.

в) интервал замедления между взрывами смежных шпуровых зарядов.

Третьим не менее важным параметром является максимальный интервал замедления между отдельными сериями взрывания.

Это время должно быть таким, чтобы исключалась возможность бокового обнажения шпурового заряда к моменту его взрывания.

Такое обнажение является весьма опасным, т.к. оно ужесточает условия взрывания зарядов ВВ, т.е. требует применения ВВ VI класса.

Кроме того, в процессе бокового обнажения возможна деформация шпурового заряда ВВ, что может привести к отказу.

Экспериментально установлено, что время начала образования дополнительных открытых поверхностей находится в пределах 25...46 мс.

Исходя из результатов эксперимента, замедление между взрывами смежных шпуровых зарядов принято равным не более 40 мс.

Смежными называют шпуровые заряды ВВ, расстояние между которыми не превышает двухкратного минимально допустимого (см. табл. 6.1).

Величина этого времени имеет решающее значение для эффективности разрушения горных пород взрывом. Ведь при малых интервалах имеет место только интерференция волн напряжения, при средних - и образование дополнительных открытых поверхностей, при больших - также соударение кусков.

Поэтому, например, в Бельгии минимально допустимое время между взрывами врубовых шпуровых зарядов (они взрываются всегда первыми) и вспомо-

гательными зарядами (второй серией) для высокопредохранительных ВВ увеличено до 60...80 мс, а в США - до 100 мс.

Основанием для такого увеличения явилось, по-видимому, то, что высокопредохранительные ВВ испытывают в условиях бокового обнажения (в угловой мортире).

В нашей стране пошли путем снижения допустимых расстояний до открытой поверхности и между шпуровыми зарядами высокопредохранительных ВВ по сравнению с ВВ III-IV классов.

г) расстояние шпурового заряда ВВ до открытой поверхности.

За величину этого расстояния принимается максимальная толщина угольной или породной перегородки между шпуровым зарядом ВВ и какой-либо полостью в горном массиве, при которой взрыв заряда ВВ не воспламенит метановоздушную смесь даже при наличии предварительного загазирования полости.

Для установления этого расстояния были проведены взрывания зарядов ВВ в углещементных блоках и в стальных канальных мортирах, размещенных во взрывчатой МВС (прямые эксперименты по воспламенению МВС).

Результаты проведенных экспериментов позволили установить, что расстояние от заряда ВВ до ближайшей открытой поверхности должно быть:

- по углю:
не менее 0,5 м при взрывных работах ВВ IV и V классов и
не менее 0,3 м -//- ВВ VI класса;
- по породе:
не менее 0,3 м -//- ВВ всех классов.

6.3 Забойка шпуров при взрывных работах

В перечне условий, обеспечивающих высокую степень безопасности взрывных работ в шахтах, опасных по газу или разрабатывающих пласты, опасные по взрывам пыли, одним из наиболее существенных является обязательное применение доброкачественной, тщательно выполненной забойки.

6.3.1 Определение

Забойка шпуров представляет собой негорючий материал, размещенный и свободной от заряда ВВ части шпура и обеспечивающий его замкнутость.

Запрещается в качестве забойки применять горючие материалы, т.к. загораясь в шпуре они могут повлечь за собой воспламенение метана и угольной пыли после выбрасывания в выработку. Важность этого требования наглядно иллюстрируется результатами следующих экспериментов, проведенных в опытном штреке МакНИИ. Канальная мортира с зарядом аммонита Т-19 массой 0,9 кг размещалась в опытном штреке на определенном расстоянии от взрывной камеры, заполненной стехиометрической метановоздушной смесью. В результате взрывания зарядов установлено, что при наличии угольных пересыпок (в

виде прессованных таблеток толщиной равной 10 мм) между отдельными патронами ВВ метановоздушная смесь в 2 из 15 опытов была взорвана через воздушную преграду (буферную среду) толщиной равной 2 м. При отсутствии таких пересыпок смесь не воспламенялась даже при расстоянии устья мортиры от взрывной камеры равном 0,5 м.

6.3.2 Основные виды

В качестве забойки шпуров в угольных шахтах допущено применять:

а) глину или смесь глины с песком в соотношении 3:1, увлажненную до 8...12%.

Применяется в виде пластичных "пыжей" диаметром 32...36 мм и длиной 100...150 мм, которые в шпуре (у заряда ВВ) раздавливаются на полное его сечение.

б) сыпучие материалы (песок или гранулированный шлак), подаваемые в шпур с помощью специальных зарядчиков или самотеком (в вертикальные и наклонные шпуры с углом наклона более 60^0) на полное их сечение.

в) водяная забойка, называемая гидрозабойкой:

- путём непосредственной заливки воды в наклонные и вертикальные (в основном в вертикальных шахтных стволах) шпуры;
- в виде водонаполненных полиэтиленовых ампул с обратным клапаном диаметром 37...38 мм, длиной 350 мм и вместимостью 250...280 мл (не менее одной ампулы на шпур).

г) ингибиторная забойка на основе взрывоподавляющего порошка КСВ-30, состоящего из смеси углекислого кальция (мела) и хлорида натрия с добавкой поверхностно-активного вещества (ПАВ), в следующих видах:

- пастообразной массы, содержащей 13...20% воды, которая патронируется в полиэтиленовые ампулы, используемые для гидрозабойки, (забойка ПЗМ-3);
- "пыжей" из пластичной ингибиторной массы, содержащей 10...12% воды;
- порошковой массы, запатронизированной в бумажные оболочки диаметром 32...36 мм (по типу патронов ВВ).

д) быстротвердеющая забойка из фосфогипсового вяжущего материала (фосфогипсовая забойка).

Она представляет собой порошок с насыпной плотностью 1,18...1,20 т/м³, а после насыщения водой – 1,62...1,66 т/м³. Порошковый состав патронируется в бумажные оболочки, которые перед применением перфорируются отверстиями.

ми диаметром 1,0...1,5 мм и плотностью не менее одного отверстия на 5 см² поверхности патрона.

Фосфогипсовая забойка перед использованием в забое выработки погружается в воду и выдерживается 1-2 минуты до насыщения водой (прекращается выделение пузырьков воздуха). После этого патроны забойки извлекают из воды и укладывают на 30...40 с. для стекания ее излишков.

Патроны забойки, досылаемые в шпур, должны быть мягкими, чтобы они легко раздавливались забойником. Применение затвердевших патронов запрещается. Взрывание шпуровых зарядов рекомендуется проводить не ранее, чем через 30 мин. после заряжания шпуров (за это время происходит затверждение забойки).

Как известно, из курса "Разрушение горных пород взрывом" групповое одновременное взрывание зарядов в шпурах может привести при определенных условиях, кроме переуплотнения ВВ, к следующим отрицательным явлениям:

- раздвижке патронов ВВ;
- выбрасыванию заряда ВВ;
- выбрасыванию забойки, особенно водяной.

В то же время процесс раздвигания патронов создает условия для получения неполной детонации в шпурах. Преждевременное выбрасывание внутренней забойки от действия взрыва соседнего заряда может явиться также причиной воспламенения метано- и пылевоздушной среды.

Кроме того, экспериментально подтверждено, что наличие радиального зазора между стенками шпура и поверхностью стандартных ампул с водой приводит к воспламенению метана продуктами взрыва, выбрасываемых из шпура через этот зазор.

Для предотвращения раздвижки патронов, выбрасывания воды и ампул с водой из шпура, а также с целью исключения возможности прорыва в выработку продуктов взрыва по радиальному зазору между стенами шпура и поверхностью ампулы гидрозабойка из водонаполненных полиэтиленовых ампул, как и любой другой вид патронированной забойки, должна применяться только в сочетании с запирающей забойкой из глины или смеси глины с песком длиной не менее 15 см (три "пыжа"). Она должна примыкать к патронированной забойке и полностью перекрывать поперечное сечение шпура.

В шпурах ампула с водой или ингибитором должна находиться между зарядом ВВ и запирающей забойкой, плотно прилегая к патрону-боевику с одной стороны и поджатая запирающей забойкой с другой. При заливке шпуров водой запирающая забойка устраивается из сыпучих материалов (через них должна фильтроваться вода) и досылается вплотную к заряду ВВ. В этом случае ее длина должна быть не менее 0,3 м.

Чтобы подчеркнуть важность применения на практике запирающей забойки как средства, предотвращающего раздвижку патронов, я хочу рассказать о несчастном случае, (взрыв ВВ в шпуре) происшедшем в шахте им. Румянцева ПО "Артемуголь" в конце 1978 года. Случай произошел при разбурива-

нии стакана в подготовительной выработке, проводимой только по породе. В качестве ВВ применялся детонит 10 А. Иницирование шпуровых зарядов осуществлялось электродетонаторами короткозамедленного и замедленного действия с временем замедления до 2 с. В качестве забойки применялась гидрозабойка из ампул с обратным клапаном. Глубина шпуров составляла 2 м. Сам случай в общем-то не единичен, но нас, членов экспертной комиссии, поразило тот факт, что КИШ не превышал 0,5, т.е. отход после взрывания составлял всего около 1,0 м - и это при детоните 10 А! Ознакомление с паспортом БВР показало, что он вполне работоспособен и должен обеспечивать нормальную эффективность взрывания. Я спустился в шахту и начал внимательно изучать стаканы шпуров, которые действительно оказались равными 1,0...1,2 м. Примерно 0,6...0,8 м от дна стакана его стенки были совершенно не поврежденными, т.е. оставались примерно такими же, как после бурения. В то же время вблизи устья стенки стаканов были разбиты от взорвавшегося заряда. Это свидетельствовало о том, что в процессе взрывания произошла раздвижка патронов ВВ как за счет сейсмического действия предыдущих по времени взрывания зарядов, так и за счет подвижки патронов непосредственно за проводники при таком большом замедлении между сериями (до 1 с).

Это явление стало возможным из-за отсутствия или некачественного применения запирающей забойки — глина находилась в вагоне вдали от забоя, причем располагалась под сильным капезом.

Перечисленные забоечные материалы допускается применять в следующих условиях:

вода в полиэтиленовых ампулах или без них (гидрозабойка), взрывоподавляющие порошки (ингибиторная забойка) — во всех забоях выработок, в том числе в которых имеется выделение метана и взрывчатая угольная пыль;

глина или смесь глины с песком в пластичном виде — в забоях выработок, в которых отсутствует выделение метана и взрывчатая угольная пыль, а также в чистопородных забоях выработок, в которых имеется выделение метана, кроме случаев суфлярного выделения на расстоянии до 20 м от забоя;

доменный гранулированный шлак, песок — при проходке и углубке вертикальных шахтных стволов, при этом в случае выделения метана шпур, кроме того, должны заливать водой;

фосфогипсовое вяжущее вещество (фосфогипсовая забойка) — в забоях выработок, в которых отсутствует выделение метана и взрывчатая угольная пыль, а также в качестве запирающей забойки во врубовых шпурах при использовании ингибиторов в забоях выработок, в которых имеется выделение метана и взрывчатая угольная пыль.

В выработках, проводимых по нарушенному массиву (по завалам, вприсечку к старым погашенным выработкам и в других подобных условиях, например, в бутовых штреках, где имеется выделение метана), а также в шпурах клинового взрывного вруба целесообразно применять донно-устьевую забойку, при которой дополнительно к тому или иному виду устьевой забойки размещается у дна шпура (впереди заряда) ампула гидрозабойки.

6.3.3 Взрывозащитная эффективность

Обусловлена суммарным действием следующих факторов:

а) обеспечение высокого КИШ, а следовательно, максимального использования потенциальной энергии взрыва на отрыв породы, т.е. на полезную работу разрушения. На первый взгляд кажется, что забойка, имеющая значительно меньшую прочность, чем взрывааемый массив, не может оказать достаточного сопротивления давлению газов, образующихся при взрыве ВВ. Однако многочисленными исследованиями, подтвержденными многолетней практикой, установлено, что при тех огромных скоростях, с которыми проходит явление взрыва, забойка оказывает значительное сопротивление и задерживает продукты взрыва внутри шпура на время, достаточное для совершения полезной работы по разрушению взрывааемого массива. В то же время при холостых взрывах продукты детонации ВВ, не успев охладиться, будут выброшены из шпуров в рудничную атмосферу с более высокой температурой и под большим давлением, что увеличивает опасность воспламенения метано- и пылевоздушных смесей. Кроме того, в результате холостых взрывов в массиве породы все же образуются трещины. Поэтому повторное бурение, зарядание и взрывание в трещиноватых забоях является небезопасным, т.к. трещины могут пересекать заряды ВВ III...V классов и пламя их взрыва, попав в призабойное пространство выработки, может воспламенить взрывчатую метано- и пылевоздушную смесь.

б) охлаждение раскаленных продуктов взрыва до безопасных пределов за счет теплоотбора и потери энергии при расширении в инертной среде;

в) обеспечение устойчивости детонации шпурового заряда путем:

- предотвращения раздвижки патронов ВВ в сближенных шпурах;
- препятствия развитию откольных явлений в шпурах, заполненных водой.

Для определения влияния водяной забойки на устойчивость детонации ВВ при групповом взрывании зарядов по углю были проведены специальные исследования. Они сводились к установлению откольных явлений в сближенных шпурах, заполненных водой, и к замеру скорости детонации ВВ в шпурах при расстоянии между ними менее допустимого (см. табл. 6.1).

Откольные явления при ведении взрывных работ по углю имеют большое значение. Например, взрыв одного или двух зарядов аммонита ПЖВ-20 массой 0,6...0,9 кг каждый приводит к значительной деформации соседних шпуров, расположенных на расстоянии 0,5 м и менее. При этом часть шпура в месте нахождения патронов, т.е. напротив заряда соседнего шпура, обычно полностью забивается угольной мелочью. После ее удаления лоткомчищалкой диаметр шпура в зоне его разрушения, как правило, превышает 60 мм. Совершенно иное положение наблюдается при заливке сближенных шпуров водой. Из многочисленных шахтных экспериментов видно, что, например, шпуры с водой, расположенные на расстоянии 0,3 м и более от взрывааемых шпуровых зарядов аммонита ПЖВ-20 массой 0,9 кг, либо совершенно не увеличиваются в диаметре,

либо получают незначительные деформации. В последнем случае отколотая угольная мелочь легко вычищается из них лоткомчищалкой. В то же время не заполненные водой шпуров, пробуренные на этих же пластах, даже на расстоянии 0,45...1,05 м от взрывных зарядов полностью пережимаются и с трудом очищаются от откольной угольной мелочи.

Скорость детонации предохранительных ВВ в шпурах с водой, расположенных на расстоянии 0,3...0,4 м от ранее взрывааемых зарядов, как показали проведенные исследования, не снижается, что имеет место при взрывании без воды.

Таким образом, при взрывных работах по углю наличие воды в шпурах препятствует развитию явлений откола и способствует устойчивости детонации зарядов.

г) флегматизация рудничной атмосферы призабойного пространства выброшенным из шпуров (в виде аэрозоля) забоечным материалом.

Весьма продолжительное время существовало мнение, что забойка из глины или смеси глины с песком (а следовательно, из пластичной ингибиторной массы) при взрыве заряда ВВ в шпуре, пробуренного в крепкой породе, выбрасывается из шпура отдельным сплошным куском аналогично пробке, вылетающей из горлышка бутылки. На основании этого считалось, что вылетающие вслед за глиняной пробкой газы взрыва имеют высокую температуру и могут воспламенить метан или угольную пыль. Однако скоростная киносъемка показала, что при взрыве заряда забойка из канала выбрасывается в виде распыляемой воды, порошка или частиц глины, т.е. в виде аэрозоля забоечного материала, смешанного с продуктами взрыва;

д) снижение в определенных условиях взрывания количества образующихся ядовитых газов. Например, гидрозабойка в случае применения ВВ V и VI классов снижает суммарный объем ядовитых газов по сравнению с песчаноглиняной забойкой в 1,5 раза.

Практикой ведения взрывных работ в рудных шахтах Кривбасса установлено, что применение песчаноглиняной забойки по сравнению со взрыванием таких же зарядов без забойки позволяет уменьшить количество ядовитых газов, образующихся при взрывах:

- в сухих забоях более чем в 2,5 раза;
- в обводненных - в 1,5 раза.

е) увеличение скорости остаточных реакций, чем достигается более полное разложение ВВ.

Для выполнения всех этих функций при взрывании по углю и по породе минимальная длина забойки в шахтах, опасных по газу или пыли, согласно ЕПБ, для всех забоечных материалов должна быть:

- а) при длине шпуров от 0,6 до 1,0 м – не менее половины длины шпура;
- б) при длине шпуров более 1,0 м – не менее 0,5 м.

Область, параметры и условия применения забойки изложены в «Руководстве по применению забойки при взрывных работах в угольных шахтах» (Ма-

кеевка – Донбасс: Изд. МакНИИ, 1989. – 19с.) и в дополнениях к нему в части ингибиторной забойки (1994. – 8 с.).

6.4 Камуфлетный способ взрывания скважинных зарядов ВВ при передовом торпедировании

В угольных шахтах наряду со шпуровым применяется скважинный метод взрывания зарядов ВВ. Особенно широкое распространение он получил, когда для обеспечения стабильности работы высокопроизводительных очистных комплексов и предотвращения внезапных выбросов угля и газа был разработан способ разупрочнения труднообрушаемых пород кровли впереди очистного забоя взрывом в ней скважинных зарядов, получивший название передового торпедирования.

Передовое торпедирование - это способ разупрочнения труднообрушаемых пород кровли впереди очистного забоя взрывом в ней скважинных зарядов со следующими параметрами:

диаметр скважин	-	76...112 мм,
длина скважин	-	30...110 м,
диаметр монозаряда	-	55...70 мм,
длина монозаряда	-	10...55 м,
масса заряда в скважине	-	50...210 кг и более.

Передовое торпедирование характеризуется достаточно высокой эффективностью в части управления кровлей. Оно повышает производительность труда в лавах после разупрочнения пород и обеспечивает безопасность работ в очистных забоях после взрывания.

При этом на шахтах применяют схемы одностороннего и двухстороннего торпедирования.

Наиболее современная схема заряжения скважин, принятая в шахтах Донбасса, состоит в следующем. Из патронов ВВ изготавливается возле заряжаемой скважины монозаряд диаметром на 20...25 мм меньше диаметра скважины. Для этого патроны ВВ помещают в полиэтиленовый рукав (через карманы) вплотную друг к другу. Патрон-боевик размещается в металлической гильзе с кумулятивной выемкой. Монозаряд крепится к металлическому тросу, переброшенному через блок стопорного элемента, размещенного у забоя скважины. Этим тросом он с помощью лебедки затягивается в скважину до проектной отметки.

Передовое торпедирование является сложной и весьма опасной операцией. Возникновение аварийных ситуаций обуславливается, в основном, выбросом в горные выработки продуктов детонации, содержащих в своем составе 25...35 м³ горючих газов (11...13% общего объема), в которых присутствуют, в основном, водород, оксид углерода и метан. В результате происходит свободное сгорание указанных горючих газов в выработке, что само по себе представляет значительную опасность для людей и как источник возможного пожара, а также чревато воспламенением метановоздушной и пылевоздушной смесей.

К тому же наличие полиэтиленовой пленочной оболочки вокруг заряда ВВ и стального троса в скважине значительно увеличивает размеры пламени и дальность разлета искр (рис.6.1; 6.2).

Кроме источников воспламенения и горючей атмосферы, при взрыве значительных масс ВВ в призабойном пространстве выработки формируется ударная волна и выбрасываются продукты взрыва, что приводит к повреждению крепи и горношахтного оборудования.

Однажды в присутствии автора произошел такой случай. После установки и крепления патрон-боевика в монозаряде была дана команда на продолжение затягивания всего монозаряда в скважину. И вот, когда металлическая гильза патрона-боевика подошла к устью скважины, ее расклинило и движение заряда прекратилось. Лебедка продолжала работать. Канат натянулся, как струна. Все присутствующие оцепенели. Трагедия была неминуема: или канат порвется, или взорвется заряд. Положение спас оператор у скважины. Он в самый последний момент, рискуя жизнью, направил патрон-боевик в скважину и тем самым снял его с застопорившегося положения. Затяжка возобновилась. Все вздохнули с облегчением.

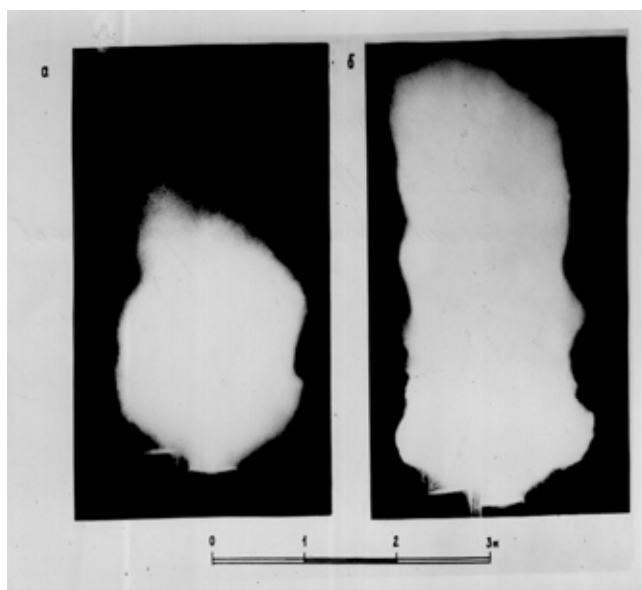


Рис. 6.1. Розміри поум'я при вибуху в каналній мортирі заряду амоніта 6ЖВ масою 0,4 кг (нічні зйомки):
а - в паперовій оболочці;
б - в поліетиленовій оболочці.

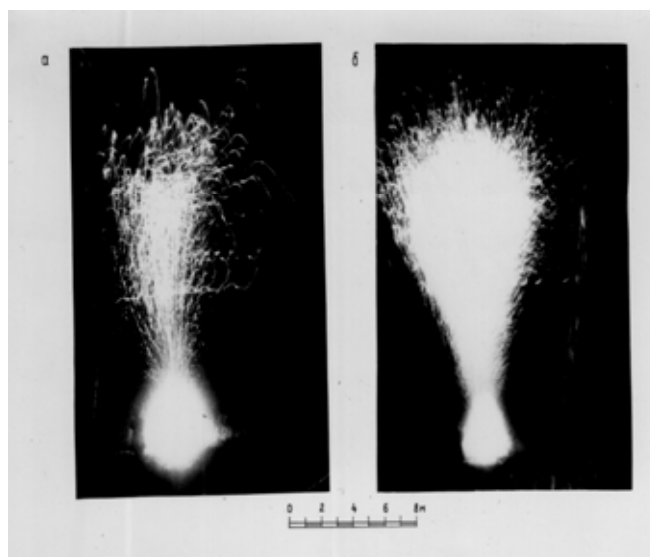


Рис. 6.2. Інтенсивність іскроутворення при вибуху в каналній мортирі заряду амоніта 6ЖВ масою 0,4 кг (нічні зйомки):
 а - без визначення іногородними предметами;
 б - при прокладці впродовж заряду смального троса.

Взрывание в шахтах, опасных по газу и пыли, скважинных зарядов большой массы требует применения специальных технических средств и проведения мероприятий по предупреждению воспламенения пылеметановоздушных смесей.

В связи с тем, что взрывание скважинных зарядов производится в глубине монолитного не трещиноватого массива, воздействие источников высокой температуры, сопровождающих детонацию ВВ, на шахтную атмосферу возможно только со стороны устья скважины. В этих условиях особое значение приобретает забойка, размещаемая в свободной от заряда части скважины.

Для охлаждения продуктов детонации, различного рода раскаленных частиц, выбрасываемых из устья скважины, наиболее эффективным по теплофизическим свойствам забоечным материалом является вода. Поэтому на первом этапе применения передового торпедирования применялась гидрозабойка. Для этого одновременно с монозарядом в скважину затягивалась специальная полиэтиленовая ампула (шланг), которая затем заполнялась водой. Устье скважины герметизировалось с помощью глиняной пробки или гидрозатвора. Однако такая конструкция забойки обладала низкой взрывозащитной эффективностью или из-за простого незаполнения ампул водой на всю их длину, или из-за того, что полиэтиленовые ампулы рвались (при затягивании или заполнении) и вода вытекала из скважины.

Поэтому такая технология заряджения и взрывания скважинных зарядов характеризовалась повышенной опасностью возникновения аварий, связанных со взрывами и пожарами в шахтах. Об этом свидетельствуют случаи воспламенения пылегазовоздушных смесей, происшедших при взрыве скважинных зарядов из аммонита Т-19 в шахте "Молодогвардейская" ПО "Краснодонуголь" и ш/у Донбасс" ПО "Донецкуголь". При этих авариях в выработках со свежей струей воздуха, с которых бурились скважины, обнаруживались следы воздействия

высокотемпературных продуктов взрыва (оплавленный телефонный кабель, обугленная деревянная крепь, обгоревшие вентиляционные трубы), "кокстик" на крепи, свидетельствовавший о взрыве угольной пыли, а также открытое пламя (оранжевого цвета) у устья скважины (табл. 6.2).

Таблица 6.2

Характеристика аварий, имевших место при передовом торпедировании
кровли

Даты взрывания	Место передового торпедирования	Характер происшедшей аварии
1	2	3
15.01.79	11-й бортовой ходок 11-й лавы пл.8 шахты им. Газеты "Социалистический Донбасс" п/о "Донецкуголь"	После взрывания обнаружено в непосредственной близости от устья скважины открытое пламя (оранжевого цвета), которое было погашено водой (метан в выработке отсутствовал).
11.01.81	9-й вентиляционный штрек 9-й западной лавы пл.К2 шахты 'Молодогвардейская' п/о "Краснодонуголь"	Воспламенение пылевоздушной смеси, образовавшейся в выработке под действием ударной волны, вызванного взрывом скважинного заряда ВВ (обнаружены следы "кокстика", обгоревшие газеты, оплавленные пластмассовые щитки гидростоек и т.д.).
22.02.81	То же, 8-й вентиляционный штрек 7-й северной лавы	Следы воздействия высокотемпературных продуктов взрыва (прослеживаются на расстоянии 20 м и более): горевшие газеты, оплавленный телефонный кабель, обгоревший кусок ткани вентиляционной трубы.
03.05.81	То же, 8-й северный конвейерный штрек 8-й северной лавы	Следы воздействия высокотемпературных продуктов взрыва (прослеживаются со стороны свежей струи по отношению к лаве): оплавленные телефонный кабель, и корпуса светильников, обугленная деревянная крепь.

Комплексное решение проблем взрыво- и пожарозащиты, а также сохранности крепи и горношахтного оборудования было достигнуто за счет взрывания скаженных зарядов в режиме полного камуфлета, т.е. взрывания без выброса забойки из скважины в выработку, из которой она пробурена.

Напомню, что камуфлетом называется такое внутреннее действие взрыва зарядов ВВ, которое ничем не проявляется на открытой поверхности и локализуется внутри массива породы.

Камуфлетное взрывание было обеспечено за счет применения сыпучей забойки ВМК-1, представляющей собой увлажненную смесь гранулированного карбомида и порошкового хлорида калия в соотношении 3:1 (рис. 6.3; 6.4).

Забойка ВМК-1 подается в скважине сжатым воздухом по гибкому зарядному трубопроводу с внутренним диаметром 25...32 мм с помощью порционного зарядчика ЗМК-1.

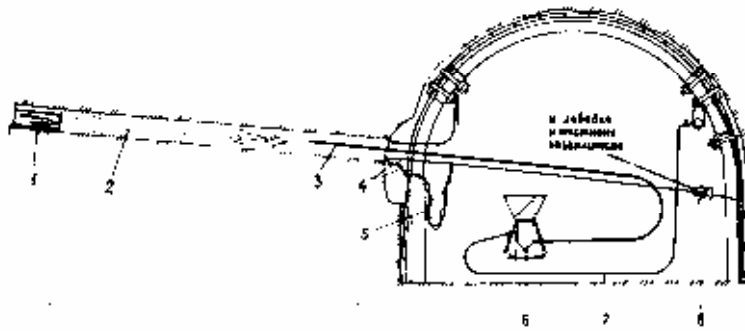


Рис. 6.3. Схема формування сипучої набійки у свердловині

1- патрон-бойовик заряду ВР; 2 - сипуча набійка; 3 - зарядний трубопровід; 4 - стальний трос;
5 - провідники електродетонаторів; 6 - зарядник; 7 - повітряний трубопровід; 8 - направляючий ролик.

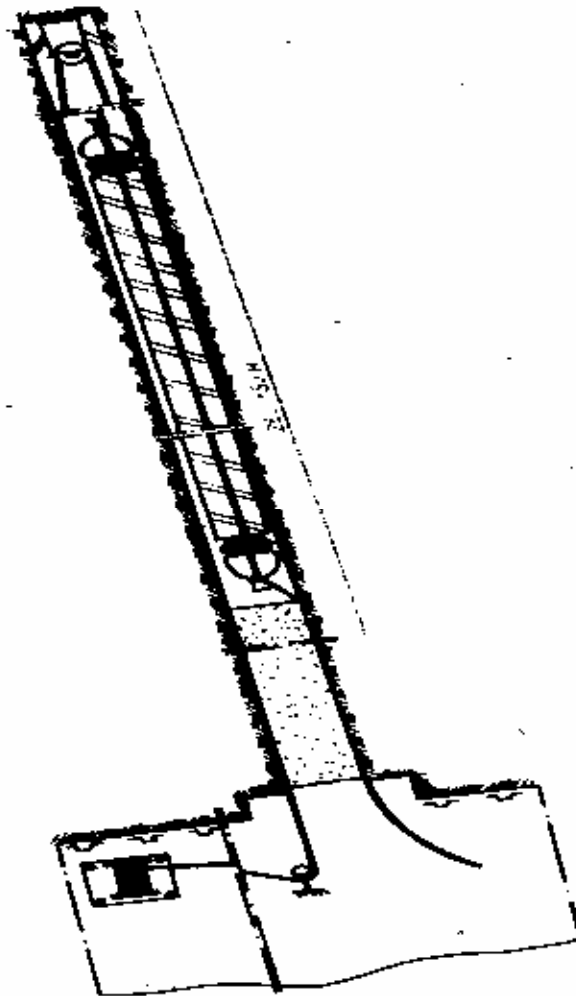


Рис. 6.4. Конструкція свердловинного заряду з сипучою набійкою (при камуфлетному способу підривання).

Она способна удерживаться в скважинах большого диаметра (до 112 мм), в т.ч. восстающих с углом восстания до 60^0) без применения дополнительных герметизирующих средств.

После взрывания такая забойка уплотняется (особенно средняя ее часть) до монолитного состояния и тем самым не выбрасывается из скважины.

Продукты взрыва постепенно истекают из камуфлетной полости через трещины в массиве и забойку и уже через 30...40 мин. после взрывания избыточное давление в скважине отсутствует (установлено теоретически и подтверждено экспериментально путем искусственного вымывания забойки и выдерживания стального троса после взрывания).

Минимально необходимая длина забойки для камуфлетного взрывания определяется по формуле

$$\ell_{з.мин} = \ell_{з.кам} + h_з \quad (6.1)$$

Критериальное условие взрывания заряда ВВ без выброса забойки имеет вид:

$$\ell_{зар} \leq \frac{0,86P_n(n^2 - 1)\ell_{з.кам} \cdot (1 + \ell_n \ell_{з.кам.})}{D^2(\rho_s - \rho_з)(d_{зар} / d_{скв.})^2(\rho_{зар.} / \rho_з)}, \text{ м}, \quad (6.2)$$

где $\ell_{з.кам.}$ – длина участка сыпучей забойки, уплотняющегося при камуфлетном взрыве;

$h_з$ – протяженность неуплотняющегося при камуфлетном взрыве устьевого участка сыпучей забойки;

$\ell_{зар}$ – длина заряда, м;

P_n – усредненное давление продуктов взрыва в зарядной полости, Па;

n – показатель политропы взрывающегося ВВ;

D – скорость детонации заряда ВВ, м/с;

$\rho_з$ – плотность забойки, кг/м³;

ρ_s – физическая плотность вещества твердой фазы забойки (максимально возможная плотность забоечного материала), кг/м³;

$d_{зар}$ – диаметр заряда ВВ, мм;

$d_{скв.}$ – диаметр зарядной полости (скважины), мм;

$\rho_{зар}$ – плотность заряда ВВ, кг/м³.

В результате экспериментальных взрываний скважинных зарядов из аммонитов 6ЖВ и Т-19 установлено, что при камуфлетном взрывании наиболее близкие к фактическим значениям дает метод расчета давления, основанный на учете состава продуктов взрыва, а именно:

$$P_n = 80540,1 \frac{N \cdot T \cdot \Delta}{1 - 0,01\bar{\alpha} \cdot \Delta} \cdot \sigma(X), \text{ Па}, \quad (6.3)$$

где $\sigma(X) = 1 + x + 0,625x^2 + 0,287x^3 + 0,194x^4$,

$$X = \frac{b}{(100/\Delta) - \alpha}, \quad b = \sum_{i=1}^i N_i b_i;$$

T – температура продуктов взрыва, К;

N - число молей газа на 0,1 кг ВВ;

$\Delta = (d_{зар.}/d_{п.}) \cdot \rho_{зар.}$ - плотность заряжения, г/см³;

b - второй вириальный коэффициент продуктов взрыва 0,1 кг ВВ, см³;

α - объем, занимаемый газообразными продуктами взрыва 0,1 кг ВВ, см³.

При камуфлетном взрывании скважинных зарядов из аммонитов 6ЖВ и Т-19 с применением забойки ВМК-1 неравенство (6.2) имеет следующий вид:

$$\ell_{зар} \leq 0,4 \ell_{з.кам} (1 + \ell_n \cdot \ell_{з.кам}) \cdot \left(\frac{d_{зар}}{d_{скв}} \right)^{0,4}, \text{ м}, \quad (6.4)$$

Лабораторные и шахтные эксперименты показали, что верхний слой сыпучей забойки, т.е. со стороны устья скважины (шпура), при камуфлете не уплотняется.

Протяженность зоны такого устьевого рыхления (зоны откола) при взрыве ВВ II...IV классов определяется по формуле (при отрицательном значении h_3 принимается равным нулю):

$$h_3 = 737 S_n \sqrt[3]{m_{зар}} - 0,25 \ell_{зар} - 0,5 \ell_{з.кам}, \quad (6.5)$$

где S_n - площадь поперечного сечения полости (скважины, шпура), м²;

$m_{зар}$ - масса взрываемого заряда ВВ.

При применении аммонита 6ЖВ или Т-19 и забойки ВМК-1 в скважинах упомянутого диаметра для определения $\ell_{з.мин.}$, при которой достигается камуфлет, можно пользоваться с достаточной для практики точностью следующей эмпирической формулой

$$\ell_{з.мин.} \geq 1,27 \ell_{зар.} \left(\frac{d_{зар.}}{d_{скв.}} \right)^2 \quad (6.6)$$

Длина шпура (скважины) для обеспечения камуфлетного взрывания должна быть равна

$$\ell_{ш} \geq \ell_{зар} + \ell_{з.мин} \quad (6.7)$$

По данным практики камуфлетное взрывание при передовом торпедировании достигается при $l_{мин} \geq (0,50...0,66) \cdot l_{скв.}$.

Необходимо подчеркнуть, что, кроме запирающей эффективности, забойка ВМК-1 обладает высокими теплофизическими и флегматизирующими свойствами. Поэтому даже в случае выбрасывания ее из скважины (в результате нарушения параметров взрывания) забойка способна надежно предотвратить воспламенение пылегазовоздушных смесей.

Вместе с тем для обеспечения безопасного взрывания скважинных зарядов наряду с применением сыпучей забойки должен выполняться ряд дополнительных требований ЕПБ при взрывных работах в соответствии с "Инструкцией по выбору способа и параметров разрушения кровли на выемочных участках" (Л.:

- Изд. ВНИМИ, 1982. - 120 с.), в разработке которой принимало участие 63 специалиста из 16 организаций бывшего СССР.

6.5 Классификация забоев горных выработок по степени опасности и режимы ведения взрывных работ в угольных шахтах

Все забои выработок, проводимые буровзрывным способом в угольных шахтах, опасных по газу или пыли, подразделяются по степени опасности на три вида и шесть групп:

- неопасные (I группа),
- опасные (II, III группы),
- особо опасные (IV, V, VI группы).

К группе I (неопасные) относятся забои тупиковых выработок, проводимых по пластам, не опасным по взрывам пыли, или только по породе при отсутствии в выработках выделения метана.

К группе II (опасные) относятся забои тупиковых выработок при выделении в них метана или проводимых по пластам, опасным по взрывам пыли, если исходящая струя из этих выработок не поступает в другие действующие выработки, где работают люди.

К группе III (опасные) относятся забои тупиковых выработок, в которых имеются выделения метана или проводимых по пластам, опасным по взрывам пыли, если исходящая струя из этих выработок поступает в другие действующие выработки, где работают люди.

К группе IV (особо опасные) относятся угольные и смешанные забои выработок с повышенным выделением метана, а именно:

- забои тупиковых выработок, в которых после взрывания по углю или по углю и породе одновременно концентрация метана не меньше 2%;
- забои тупиковых выработок, проводимых по пластам, опасным по суфлярным выделениям метана (суфляр - локальное выделение газа из природных или эксплуатационных трещин в горные выработки с дебитом не менее 1 м³/мин.);
- забои тупиковых выработок, опасных по слоевым скоплениям метана;
- забои восстающих выработок с углом наклона более 10° и длиной тупиковой части более 20 м, если в них выделяется метан.

К группе V (особо опасные) относятся забои тупиковых выработок, проводимых по пластам, опасным по внезапным выбросам угля и газа, и по выбросоопасным породам.

К группе VI (особо опасные) относятся выработки, из которых проводится взрывание скважинных зарядов (разупрочнение трудноразрушаемых пород кровли на выемочных участках, борьба с выбросами и т.п.).

Для каждой группы забоев установлен режим взрывных работ, т.е. когда разрешается производить взрывание зарядов и где допускается нахождение людей (табл. 6.3).

Таблица 6.3

Режимы ведения взрывных работ.

Время производства взрывных работ	Степень опасности выработки	
	Вид	Группа
В любое время смены	не опасные	I
--//--	Опасные	II
В специальные междусменные пере- рывы	Опасные	III
--//--	особо опасные	IV, V
В специально выделенную смену или в выходные дни	особо опасные	VI

Во всех случаях взрывные работы допускается производить при отсутствии людей в опасной зоне взрыва и в выработках, по которым движутся продукты взрыва.

Выбор производится в соответствии с “Методическими указаниями по составлению режимов ведения взрывных работ в угольных шахтах, опасных по газу или разрабатывающих пласты опасные по взрывам пыли (Макеевка-Донбасс: Изд. МакНИИ, 1994 г. - 10 с.).

В этом же нормативном документе дана формула для расчета концентрации метана после взрывных работ.

6.6 Перспективы развития средств предупреждения и локализации взрывов метана и угольной пыли при производстве взрывных работ

Как показывает практика, широкое внедрение прогрессивной технологии и техники угледобычи с одновременным осуществлением комплекса мер по обеспечению безопасности ведения горных работ полностью не устраняет угрозу очаговых воспламенений метана и развивающихся взрывов пылегазовых смесей в угольных шахтах. Практически все аварии и связанные с ними несчастные случаи произошли в результате грубых нарушений требований ПБ, ЕПБ и других нормативных актов, в том числе по взрывным работам, т.е. несоблюдение пылегазового режима, технологии и организации ведения горных и взрывных работ.

Анализ организационных причин травматизма при производстве взрывных работ показывает, что около 40% пострадавших - результат нахождения посторонних лиц и лиц, проводивших взрывные работы, в опасной зоне. Технические причины аварийности обусловлены главным образом высокой чувствительностью детонаторов к механическим воздействиям, из-за чего травматизм от взрывов при перебурировании отказавших зарядов и других механических воздействий на патроны-боевики во время заряжания шпуров составил примерно 45%. Среди пострадавших при взрывных работах примерно 35% горнорабочих очистного забоя.

Основными нарушениями, приводящими к авариям и травматизму, например, при взрывных работах являются:

- неудовлетворительное проветривание забоев перед проведением взрывных работ;
- неправильное применение (или отсутствие) водораспылительных завес;
- несоблюдение минимально допустимых расстояний между шпуровыми зарядами;
- использование ВВ ниже предусмотренного класса;
- несоблюдение режимов ведения взрывных работ;
- проведение взрывных работ при нахождении людей в опасной зоне взрыва;
- взрывание зарядов в два-три приема;
- применение накладных зарядов.

Наряду с этим, существующие ВВ не обладают достаточными предохранительными свойствами; все типы ВВ способны поджигаться и выгорать в шпурах, что чрезвычайно опасно. ЭД имеют невысокий технический уровень, недостаточный диапазон замедлений, очень чувствительны к механическим воздействиям. До сих пор общее время взрывания шпуровых зарядов равное 220 и 320 мс не реализуется, т.к. промышленность не в состоянии освоить производство новых ЭД.

В условиях современного производства, несмотря на коренное изменение технологии угледобычи и технического перевооружения шахт в основных угледобывающих странах мира, проблема предупреждения взрывов метана и угольной пыли сохраняет свою остроту. Решение этой актуальной проблемы должно основываться на изыскании новых принципов в создании более надежной техники взрывозащиты горных выработок.

Совершенствование системы взрывозащиты горных выработок вообще и обеспечение безопасности взрывных работ в частности будет идти по трем направлениям:

- ужесточение правил ведения горных работ, строгой регламентации действий и поведения персонала;
- разработка более прогрессивной технологии производства взрывных работ, при которой резко снизится необходимость и возможности нарушения приемов и операций по безопасности;
- совершенствование дополнительных систем предупреждения и локализации взрывов.

В качестве примера рассмотрим направления повышения эффективности и безопасности взрывных работ, которые, как вам известно, являются основным технологическим процессом при строительстве горных выработок (с их помощью производится около 60% всех выработок) и в то же время остаются основным источником воспламенения взрывчатой среды.

В области техники взрывных работ необходимо:

- создать ВВ с высокими предохранительными свойствами и устойчивыми против выгорания (поджигания и горения в шпурах), а также ВВ, способные детонировать в шпурах и скважинах, заполненных водой под давлением;
- освоить производство предохранительных ВВ в патронах диаметром 36 мм (вместо 32 мм) и массой 300...400 г (вместо 200 г);
- разработать предохранительные и не предохранительные ЭД низкой чувствительности к механическим воздействиям, с увеличенным временем срабатывания (до 300...500 мс) и защищенные от зарядов статического электричества;
- создать искробезопасный взрывной прибор, электрический импульс которого при искрении проводов взрывной сети не должен воспламенять метан;
- разработать и освоить серийный выпуск приборов на современной элементной базе для измерения сопротивления ЭД на складах ВМ и для проверки исправности взрывных устройств.

Кроме того, необходимо работать над созданием системы взрывания с управлением по радиоканалу и беспроводного способа взрывания в воде под давлением - гидровзрывания как весьма перспективного способа отбойки угля в нишах, кутках и лавах на крутых пластах. Причем новой электрической системе взрывания надо придать функцию обнаружения людей в опасной зоне взрыва и наличия метана в выработке. Для гидровзрывного способа необходимо освоить выпуск специальных КД, срабатывающих от избыточного давления воды в шпурах; гидрозатворов для герметизации устьев шпуров и водоустойчивых зарядов ВВ.

В области технологии взрывов на первом этапе необходимо усовершенствовать короткозамедленное взрывание (КЗВ), т.е. разработать оптимальные его параметры в части общего времени взрывания и интервалов замедления между взрывами смежных шпуровых зарядов высокопредохранительных ВВ V и VI классов; оптимальные соотношения диаметра шпура и заряда, рациональных типов врубов. Усовершенствованные параметры КЗВ необходимы, чтобы ограничить использование в газовых шахтах недостаточно предохранительных ВВ IV класса и перейти на ВВ V и VI классов при взрывании по углю в смешанных забоях. Их использование, кроме повышения безопасности, даст возможность снизить дробимость (измельчение) угля и газовыделение из него, уменьшить разброс горной массы.

Наряду с этим следует провести цикл научных исследований по разработке новых технологий ведения взрывных работ, основанных на камуфлетном способе взрывания скважинных зарядов ВВ, в т.ч. скважинно-шпурового метода проведения горных выработок.

В целях резкого снижения аварийности при взрывных работах по организационным причинам должна быть предпринята очередная попытка создания автоматической системы контроля основных параметров безопасности взрыв-

ных работ. Как известно, безопасность и эффективность взрывных работ определяют следующие основные факторы:

- параметры и схема расположения шпуров;
- конструкция заряда ВВ;
- расстановка заземлений ЭД;
- забойка шпуров;
- правильность монтажа взрывной сети;
- отсутствие метана и пыли;
- исправность взрывной сети и взрывного прибора;
- наличие воздуха в достаточном количестве;
- отсутствие людей в опасной зоне взрыва.

В связи с этим, к разрабатываемой системе должны быть предъявлены, в первую очередь, следующие функциональные требования:

- контролировать содержание метана вблизи забоя выработки;
- осуществлять охрану опасной зоны;
- контролировать исправность взрывной цепи;
- обладать возможностью контроля исправности “внешней” системы взрывозащиты;
- обеспечивать подачу взрывного импульса во взрывную сеть только при исправной работе всех узлов системы и допустимых по условиям безопасности показаниях датчиков.

В заключение необходимо подчеркнуть, что безопасность горных работ вообще и взрывных в частности, должна строиться не только ужесточением правил их производства, строгой регламентацией действий и поведения персонала, ведущего горные работы, но и, в первую очередь, применением безопасной технологии, т.е. нужны такие средства и такая технология ведения горных и взрывных работ, при которой многие нарушения не приводили бы к взрыву метана и угольной пыли, - безопасность работ должна быть заложена прежде всего в самой технологии угледобычи.

Контрольные вопросы и задания

- 1 Перечислите технические средства обеспечения безопасности взрывных работ.
- 2 Какие взрывчатые материалы применяются в забоях выработок, где имеются выделения метана и угольной пыли?
- 3 Какие требования безопасности заложены в принадлежностях электрического способа взрывания?
- 4 Каково общее время взрывания шпуровых зарядов и на каком основании оно принято?
- 5 Каково минимально допустимое время между взрывами смежных шпуровых зарядов и с каких позиций оно принято?
- 6 Каково минимально допустимое расстояние между шпуровыми зарядами и с каких позиций оно принято?

- 7 Каково минимально допустимое расстояние шпурового заряда от открытой поверхности?
- 8 Перечислите виды забойки шпуров, допущенные в угольной шахте.
- 9 Какую забойку разрешается применять в забоях, где имеется выделение метана и угольной пыли?
- 10 В чем заключается взрывозащитная эффективность забойки шпуров?
- 11 Что такое камуфлет?
- 12 Почему камуфлетный способ взрывания скважинных зарядов является самым безопасным?
- 13 Благодаря какому техническому средству представилось возможным осуществить взрывание в камуфлетном режиме?
- 14 Сформулируйте условия, при которых скважинный заряд будет взрываться в камуфлетном режиме.
- 15 Какие условия определяют режим производства взрывных работ?
- 16 В какое время разрешается вести взрывные работы в угольных шахтах?
- 17 Перечислите направления совершенствования средств взрывозащиты.
- 18 В каком направлении должно идти совершенствование предохранительной среды?
- 19 Назовите приоритетные направления развития буровзрывной технологии проведения горных выработок.

ТЕМА 3. ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНАЯ СРЕДА ПРИ ВЗРЫВНЫХ РАБОТАХ

Взрывозащита посредством только технологических приемов не всегда обеспечивает необходимый уровень взрывобезопасности горных работ, в основном, по причине “человеческого фактора” (например, на авиавоздушном транспорте число катастроф, связанных с «человеческим фактором», составляет 80% от общего их числа).

Анализ причин вспышек и взрывов, происшедших, например, при взрывных работах, показывает, что возникновению аварийной обстановки способствуют:

- использование ВВ более низкого класса предохранительности по сравнению с допущенными в данных условиях взрывания;
- применение ЭДЗД вместо предохранительных ЭДКЗ, а также пропуск двух и более серий замедления электродетонаторов ЭДКЗ-ПМ;
- применение ВМ, имеющих отклонение фактических характеристик от установленных норм или с истекшим сроком хранения;
- уменьшение расстояний между смежными зарядами по сравнению с минимально допустимыми;
- уменьшение расстояний от шпуровых зарядов до открытой поверхности по сравнению с минимально допустимыми;
- заряджение всего комплекта шпуров с последующим поочередным взрыванием отдельных групп шпуровых зарядов (многоприемное взрывание);
- применение горючих забоечных материалов (в первую очередь угольного штыба) или недостаточная длина забойки;
- уничтожение ЭД, связанных пучком или россыпью в горных выработках;
- искрение во взрывной сети при использовании запрещенных источников тока (электросеть, головные светильники, аккумуляторы электровозов);
- использование накладных зарядов запрещенными средствами или других не допущенных способов ведения взрывных работ в опасных или особо опасных по метану забоях или выработках.

Характерным примером аварии, связанной с "человеческим фактором", является вспышка метана, происшедшая в 1994 году в шахте им. Менжинского ПО "Стахановуголь" при взрывных работах в верхней нише лавы №49 с машинным врубом, т.е. при двух открытых поверхностях.

Согласно действующим правилам, взрывные работы в этих условиях должны были бы вестись ВВ VI класса (как по нарушенному массиву) или, в крайнем случае, ВВ V класса. Однако взрывание было произведено предохранительным ВВ II класса - детонитом М.

Продукты детонации шнурового заряда воспламенили (через трещину или непосредственно через угольный массив при недостаточной длине линии наименьшего сопротивления) метановоздушную смесь во врубной полости (щели). Когда после производства взрывания концентрация метана, выделившегося из отбитого угля, достигла взрывчатой, воспламенилась метановоздушная смесь в призабойном пространстве ниши от очага пламени, сохранившегося в оставшейся после взрывания части врубовой щели. Высокотемпературные продукты взрыва распространились по вентиляционному штреку.

Поэтому в настоящее время абсолютная безопасность горных работ в шахтах, опасные по газу или разрабатывающих пласты, опасные по взрывам пыли, обеспечивается только в сочетании с дополнительной системой предупреждения вспышек и взрывов. Такая система способна предупредить воспламенение пыле- или метановоздушной смеси или подавить (локализовать) в начальной стадии развития уже начавшееся воспламенение тем самым не допустить развития взрыва по сети горных выработок с катастрофическими последствиями.

Система дополнительных средств предупреждения взрывов метана и угольной пыли включает:

- применение предохранительной среды при взрывных работах;
- мероприятия по предупреждению взрыва отложившейся угольной пыли по сети горных выработок.

Лекция 7. Общая характеристика и взрывозащитная эффективность предохранительной среды при взрывных работах

7.1 Основные понятия и определения

Под предохранительной средой понимают невзрывчатую (инертную) среду, специально создаваемую в призабойном пространстве выработки перед взрыванием шпуровых зарядов.

Выполнением данного мероприятия имеет целью создание таких условий взрывания, которые бы исключали аварии даже при наличии взрывчатой угольной пыли и выделений метана в призабойном участке выработки, а также источников воспламенения взрывоопасной атмосферы.

Наряду с предупреждением взрывов метана и угольной пыли предохранительная среда должна, по возможности, связывать образующуюся при взрывании пыль и частично нейтрализовывать ядовитые газы взрыва и тем самым улучшать гигиенические условия труда горнорабочих.

По времени взрывозащитного действия все предохранительные среды можно условно разделить на два вида:

- кратковременные;
- длительно действующие.

Время взрывозащитного действия первого вида предохранительной среды не превышает 2 с. Этого времени достаточно, чтобы предупредить воспламенение пылегазовоздушных смесей от всех возможных при взрывных работах в угольных шахтах источников воспламенения, кроме выгорающего заряда ВВ. Как вам известно, время выгорания может длиться 10...12 мин. и более, т.е. оно на несколько порядков превышает взрывозащитные возможности кратковременной предохранительной среды.

Поэтому во всех угледобывающих странах постоянно велись и ведутся поиски так называемой длительно действующей предохранительной среды, способной флегматизировать рудничную атмосферу в течение любого заданного времени и тем самым предотвратить воспламенение от выгорающего заряда и от “невзрывных” источников воспламенения.

Длительно действующая предохранительная среда применяется только в наиболее опасных условиях, в которых вероятность воспламенения взрывоопасной смеси от выгорающего заряда ВВ весьма высокая. Способы ее создания будут более подробно рассмотрены в лекции № 11.

По принципу действия все способы создания предохранительной среды можно разделить на три группы:

- способы, направленные на снижение содержания метана или кислорода в призабойном участке выработки;
- способы, основанные на замещении взрывоопасной рудничной атмосферы инертной (невзрывчатой) средой;
- способы, основанные на разбавлении рудничной атмосферы призабойного участка выработки жидкими или порошковыми инертными (негорючими) веществами.

Необходимо отметить, что сами горючие компоненты смеси в избыточном количестве могут, в принципе, выполнить эту задачу. Так, например, для метано-воздушных смесей превышение концентрации метана всего на 6% от стехиометрической нейтрализует ее взрывчатые свойства, хотя содержание кислорода остается около 18%. Однако на практике заранее неизвестно фоновое содержание горючего компонента в атмосфере. Поэтому способ предупреждения воспламенения путем введения во взрывчатую смесь дополнительного горючего может в принципе сделать смесь еще более взрывчатой, если, например, исходная (начальная) его концентрация была близкой к НПВ.

По этой и другим не менее важным причинам все применяемые в настоящее время на практике дополнительные способы взрывозащиты основаны на введении в пылегазовоздушную смесь инертных (негорючих) добавок, которые делают ее в конечном счете невзрывчатой.

При осуществлении мероприятий по предупреждению воспламенения газопылевоздушных смесей посредством создания предохранительной среды третьей группы стараются тем или иным способом вывести взрывоопасную смесь за концентрационные пределы и тем самым подавить источник воспламенения или уже начавшийся процесс горения (взрыва).

Способ обеспечения взрывобезопасности, состоящий в том, что взрывоопасная среда выводится из области воспламенения путем разбавления ее специально подобранными инертными добавками, называется *ф л е г м а т и з а ц и е й*.

Флегматизатор - негорючее или трудногорючее вещество, введение которого во взрывоопасную среду сужает область ее воспламенения или полностью устраняет возможность горения (взрыва).

Ингибиторы (отрицательные катализаторы) - это химически активные флегматизаторы, предотвращающие воспламенение не только за счет теплоотбора, но и за счет торможения химических реакций путем обрыва цепей их развития.

Если при выводе взрывоопасной среды из области воспламенения преобладает химическое торможение, то такой способ обеспечения взрывобезопасности называют *и н г и б и р о в а н и е м*.

7.2 Механизм флегматизации газопылевоздушных смесей

Идеальное порошковое (водяное) облако удобнее рассматривать как решетку, "наброшенную" на взрывоопасную среду и воздействующую на нее и на возможный источник воспламенения (пламя) в качестве огнепреградителя.

Однако сам процесс огнепреграждения (взрывопредупреждения) является довольно сложным явлением.

Флегматизацию газопылевоздушной смеси инертными веществами возможно обеспечить за счет:

- а) понижения содержания кислорода в горючей смеси до 12% и ниже;
- б) охлаждения источника (очага) воспламенения ниже критической температуры для данной смеси (T_k) в результате нагревания флегматизаторов, их разложения и нагревания продуктов пиролиза;

в) существенного замедления или обрыва цепной реакции горения в начальной стадии ее возникновения.

В угольных шахтах практическое значение могут иметь только два последних направления.

Действительно, легко подсчитать, что при истинной плотности флегматизатора порошка 2000 кг/м^3 даже навеска массой $0,5 \text{ кг}$ займет в 1 м^3 лишь $0,025 \%$ объема. Поэтому, чтобы понизить объемную долю кислорода в метановоздушной смеси с 21 до 12% необходимо рассредоточить сотни килограммов флегматизатора в 1 м^3 газовой смеси, что не реально.

Одним из основных механизмов предупреждения воспламенений газопылевоздушных смесей с помощью предохранительных завес несомненно является ингибирование. Поэтому рассмотрим его более подробно.

Как известно из лекции 4, реакция горения метана по Н.Н. Семенову носит характер разветвляющейся цепи. При этом окисление идет не прямым путем, а через промежуточные стадии. Промежуточными продуктами цепной реакции окисления являются не целые молекулы, а свободные радикалы и атомы (активные центры). Цепь химических превращений будет продолжаться до тех пор пока активные центры не прореагируют без регенерации, т.е. без образования новых активных центров. При этом вывод с помощью специальных веществ (ингибиторов) некоторых наиболее активных радикалов из участия в процессе окисления метана позволяет предупредить целый ряд промежуточных реакций, снизить число активных центров вплоть до полного прекращения реакции окисления метана. Такая реакция называется обрывом цепи.

Обрыв цепи бывает двух типов:

- гомогенный - в результате столкновения активных центров с продуктами испарения (разложения) частиц порошкового облака с образованием устойчивых побочных продуктов (процесс рекомбинации активных центров);

- гетерогенный - в результате отвода активных центров из зоны реакции путем захвата их твердой поверхностью ("эффект стенки") в виде следующей схемы:



где A - активный центр;

$П$ - твердая поверхность.

Согласно гетерогенному механизму обрыва цепи, высокая эффективность действия порошковых ингибиторов определяется их свойствами отводить активные центры из зоны реакции путем захвата их своей твердой поверхностью. Адсорбция поверхностью частиц ингибитора приводит к обязательному изъятию центра (формальдегида, гидроксила и др.) из зоны реакции в то время, как удар активного центра о стенку канала (выработки) не обязательно приводит его к гибели. Например, вероятность обрыва цепей на поверхности хлорида калия почти в 1000 раз больше, чем на поверхности стекла.

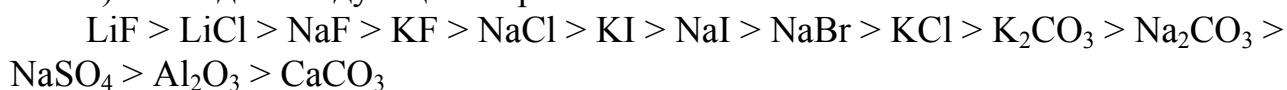
С позиции ингибирования легко объясняется влияние отдельных факторов на область воспламенения метановоздушной смеси. Отсутствие реакции при малых давлениях вызвано тем, что активные частицы, легко достигая стенок сосуда, гибнут в результате того, что происходит обрыв цепи. То же явление наблюдается в химической системе при малом диаметре сосуда. Возникновение реакции при введении в этот сосуд инертного газа объясняется тем, что молекулы его препятствуют доступу активных частиц к стенкам сосуда, уменьшают число обрывов цепи и тем самым дают возможность реакции бурно развиваться.

Ингибирующая эффективность веществ зависит в первую очередь от их химической природы.

Наиболее эффективными являются щелочные металлы, ряд которых (в порядке убывания ингибирующей эффективности) выглядит следующим образом:



Ряд ингибирующей эффективности веществ (в порядке убывания эффективности) выглядит следующим образом:



В отличие от ингибиторов собственно флегматизаторы (вода, инертные газы, инертная пыль и т.д.) не принимают прямого участия во взаимодействии горючего с окислителем: охлаждение пламени происходит по законам теплопроводности.

Все эти механизмы флегматизации газовой смеси не только взаимно дополняют друг друга, но и зависят друг от друга. Гомогенное ингибирование зависит, например, от степени прогрева порошковой частицы в облаке, т.е. связано с фактором охлаждения пламени, а огнепреграждение вообще есть результат взаимоналожения "объемного" охлаждения и гетерогенного ингибирования. Да и само гетерогенное ингибирование есть сложный суммарный процесс, куда входят и охлаждение реакционной зоны, и эмиссия вещества-охлаждителя и, наконец, собственно дезактивация активных центров, кстати, тоже состоит из нескольких стадий (адсорбция-рекомбинация-десорбция).

7.3 Флегматизирующая эффективность веществ по предупреждению воспламенений газопылевоздушных смесей

7.3.1 Процесс флегматизации газовой смеси

Применительно к газовой смеси параметром взрывопредотвращающей эффективности порошковых и жидких веществ является флегматизирующая концентрация - содержание инертного разбавителя в экстремальной точке диаграммы взрываемости, т.е. в точке, в которой оба концентрационных предела взрываемости смыкаются.

Следовательно, флегматизирующая концентрация – это минимальное количество вещества, которое необходимо равномерно рассредоточить в газовой смеси, чтобы превратить ее в невзрывчатую систему.

Обозначается S_f и измеряется в г/м^3 или кг/м^3 .

Флегматизирующая концентрация зависит в основном от:

- содержания метана в смеси;
- мощности источника воспламенения;
- состояния поверхности частиц (капель);
- химической природы флегматизаторов;
- дисперсности их частиц (капель).

Последнее наглядно иллюстрируется на примере одного из эффективных ингибиторов - хлориде натрия: при дисперсности частиц равной порядка 2500 мкм (помол № 1) $C_f = 550 \text{ г/м}^3$; равной 200...700 мкм ("экстра") - 250 г/м^3 , а менее 50 мкм - $9.6...13.3 \text{ г/м}^3$.

В настоящее время отсутствует инженерный метод расчета C_f . Ее значение устанавливают экспериментальным путем.

Флегматизирующая концентрация рекомендованных для применения в угольных шахтах порошковых веществ и воды равна (г/м^3):

КСВ-30 -- 13.5; ПВХ-1н -- 17.8; ПСБ-ТМ -- 19.8;

К-100 М -- 35.2; ВМК-1 -- 55.0; ПСБ-2 -- 144.0;

ПСБ-3 -- 159.0; инертная пыль -- 788.0; вода -- 120 ... 360 (в зависимости от степени диспергирования).

Как видно из приведенных данных, отдельные порошковые составы значительно превосходят по этому параметру воду.

В тоже время на возможность массового применения порошковых веществ в угольных шахтах накладывается ряд требований и ограничений, к которым относятся:

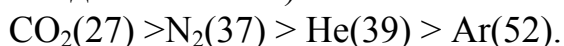
- нетоксичность и безопасность в обращении;
- низкая стоимость и недефицитность;
- сохранение основных свойств при длительном хранении, химическая стабильность;
- структура аэрозвеси должна быть непылящей и др.

Инертные газы также являются флегматизаторами реакции окисления углеводородов и поэтому достаточно широко применяются в пожаровзрывозащите (в первую очередь при горноспасательных работах).

Параметром флегматизирующей эффективности инертных газов является их минимальная концентрация в объемных процентах, которая делает смесь метана с воздухом невзрывчатой (невоспламеняющейся).

Действие различных негорючих газов на одну и ту же горючую смесь неодинаково. Чтобы сделать смесь негорючей, одних газов требуется больше, других меньше.

Ряд флегматизирующей эффективности инертных газов (в порядке убывания) выглядит следующим образом (в скобках даны значения флегматизирующих добавок для МВС в %).



Флегматизирующее действие инертных и негорючих газов находится в некотором согласии с их тепловыми характеристиками — удельной мольной теплоемкостью и теплопроводностью (теплоемкость CO_2 равна 40,2 кДж/град. моль, N_2 — 29,3 кДж/град. моль и т.д.).

7.3.2 Процесс флегматизации пылевоздушных смесей

Параметром эффективности веществ в части флегматизации угольной пыли является флегматизирующая добавка (Дф) — наименьшее количество флегматизатора (в процентах массовых), необходимое для нейтрализации взрывчатых свойств угольной пыли.

$$\text{Дф} = \frac{\text{Мф}}{\text{Муп} + \text{Мф}} * 100\%, \quad (7.1)$$

где Мф - количество флегматизатора в смеси с угольной пылью;

Муп - величина навески угольной пыли в смеси.

Например, пусть для инертной пыли $\text{Дф} = 80\%$. Это означает, что для нейтрализации взрывчатых свойств угольной пыли с помощью инертной пыли необходимо приготовить их смесь с таким расчетом, чтобы в 1 кг смеси содержалось 200г угольной и 800г инертной пыли.

Оптимальная добавка флегматизатора к пыли (Дф) позволяет сравнивать их эффективность, а в случае одного и того же флегматизатора она может служить для оценки степени взрываемости различных пылевоздушных смесей.

При флегматизации угольной пыли водой $\text{Дф} = 17\%$.

Ряд порошков по эффективности флегматизации угольной пыли приведен в таблице 7.1

Таблица 7.1

Эффективности флегматизаторов угольной пыли.

Наименование порошкового флегматизатора	I	Дф, %	I
Ингибитор К-100М	I	52	I
Огнетушащий порошок ПСБ-3	I	73	I
Инертная пыль	I	73 ... 87	I
Зола-унос	I	89	I

7.4 Принцип действия и способ создания кратковременных предохранительных завес

Наибольшее распространение в угольных шахтах при взрывных работах получила предохранительная среда третьей группы. Такой вид предохранительной

среды называют предохранительной завесой или просто завесой с указанием ее вида, например, водовоздушная завеса, водяная завеса и т.д.

По своей структуре такая завеса является неустойчивой дисперсной системой, представляющей собой систему из двух или более фаз с сильно развитой поверхностью раздела между ними. Одна из фаз (воздух, метановоздушная смесь или другой газ) образует дисперсионную среду, по объему которой распределена дисперсная фаза в виде мелких твердых частиц порошка или капель жидкости. Концентрация дисперсной фазы в таких системах с течением времени непрерывно уменьшается за счет оседания частиц порошков (капель жидкости), а также в результате расширения (роста) предохранительного облака. Поэтому такие неустойчивые дисперсные системы стремятся превратиться в газ.

Повсеместное применение при взрывных работах в угольных шахтах получили кратковременные предохранительные завесы.

В настоящее время кратковременную предохранительную завесу при взрывных работах создают посредством взрывного распыления флегматизатора (воды или порошкового ингибитора) из уложенных на почве выработки или подвешенных к крепи по специальной схеме легкоразрушаемых (полиэтиленовых) сосудов перед взрыванием шпуровых зарядов ВВ (рис. 7.1).

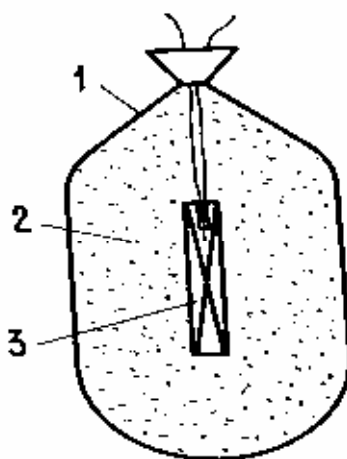


Рис. 8.1. Схематичний вигляд простого вибухоподавлювача (в розрізі):
1 - поліетиленовий посуд; 2 - флегматизатор; 3 - розпилюючий заряд ВР.

Под воздействием взрыва заряда происходит распыление флегматизатора во всех направлениях. В процессе расширения предохранительного облака флегматизатор смешивается с рудничной атмосферой, превращая ее в невзрывчатую систему.

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

Взрывной способ создания завесы (распыления флегматизатора) является чрезвычайно компактным носителем энергии, не требующей никаких двигателей и сложных механизмов для использования и вместе с тем весьма прост, техноло-

гичен и надежен в обращении. С его помощью можно обеспечить в принципе любое необходимое быстродействие формирования предохранительной завесы.

Кроме того, в процессе взрывного распыления порошков происходит их дополнительное измельчение, в результате которого может достигаться также активизация поверхностных атомов.

Взрывозащитная эффективность ингибиторов (как и других частиц) имеет, как известно, химический характер. В обычном состоянии поверхности твердых тел малоактивны вследствие того, что они покрыты слоями адсорбированных веществ или продуктами взаимодействия с кислородом воздуха и с другими веществами. Наличие такой пленки затрудняет химическое взаимодействие твердых веществ с газами и жидкостями. При дроблении частиц вещества поверхность разлома проходит не только между молекулами, но и между атомами. Поэтому свежееобразованные частицы ингибитора имеют на поверхности химические центры, активно реагирующие с другими молекулами, в том числе с активными центрами воспламенившейся метановоздушной смеси. Со временем химическая активность порошковых ингибиторов уменьшается, т.к. химические центры насыщаются в результате реакций с кислородом воздуха. В конечном счете пыль ингибиторов становится химически неактивной. Этим лишь, в частности, можно объяснить, что жители пустынь практически не болевают силикозом, хотя во многих зонах пустыни поднимаются пылевые облака высокой дисперсности, которые часто состоят почти из чистого кварца.

Образование на поверхности измельченных взрывом порошков короткоживущих активных центров может произойти за счет:

тепла, выделяющегося при трении или соударении измельченного вещества;

энергии выходящих на поверхность дислокаций при пластичной деформации частиц измельчаемого вещества;

"сброса" упругой энергии в момент разрушения твердого тела с образованием короткоживущих активных центров.

Таким образом, взрывной способ распыления веществ может рассматриваться как метод направленного регулирования физико-химических свойств порошковых веществ.

7.5 Этапы развития предохранительных завес

Водораспылительные завесы впервые были разработаны в 1957 г. Д. Отаском (бывшая Чехословакия).

В 1958 г. водораспылительные завесы начали применяться в отечественных шахтах. Распыление воды при этих завесах осуществлялось электродетонаторами.

В 1964 г. были разработаны завесы, в которых в качестве распыляющего заряда стал применяться взрыв патрона ВВ V класса. Дальнейшее совершенствование водораспылительной завесы осуществлялось в направлении уточнения технических средств ее создания, безопасных параметров и организации работ.

Доступность, удобство транспортирования, дешевизна и высокие теплофизические свойства обусловили достаточно широкое использование воды при взрывозащите.

В то же время вода обладает сравнительно низкой флегматизирующей эффективностью, которая к тому же в значительной степени зависит от условий диспергирования, в том числе от качества распыляющего заряда, толщины полиэтиленовой пленки сосуда, количество воды в нем и целого ряда других факторов (взрывозащитная эффективность водораспылительной завесы регламентируется более чем 10 параметрами).

В этом плане преимуществом перед жидкостями обладают порошковые флегматизаторы – им можно задать, в принципе, любую исходную дисперсность, а следовательно, запроектировать необходимый уровень флегматизирующей эффективности. Кроме того, порошковые составы могут обладать высокой ингибирующей способностью, а следовательно, предотвращать воспламенение не только за счет охлаждения, но и за счет разрушения "активных центров" (химическим путем).

Поэтому велись и постоянно ведутся поиски эффективного и надежного способа создания предохранительной завесы за счет взрывного распыления порошковых составов.

Рассмотрим кратко этапы ее разработки.

В 1946 г. В.И. Кравец предложил создавать предохранительную завесу путем распыления инертной (сланцевой) пыли из специальной канальной мортиры взрывом в ней 50 г. предохранительного ВВ. Однако опытно-промышленная проверка этого способа показала его неприемлемость для создания в шахтах предохранительной завесы перед взрывными работами из-за низкого быстродействия и малого угла раствора факела завесы, а также из-за весьма низкой взрывозащитной эффективности инертной пыли.

Карагандинским отделением ВостНИИ (КО ВостНИИ) была сделана в свое время попытка использовать в качестве контейнеров наклонные шпуры, пробуренные в почве выработки с направлением их устья в сторону забоя. Однако из-за трудоемкости этот способ так же не нашел практического применения.

В 1976 г. в МакНИИ был предложен капсульный способ создания предохранительной завесы. Сущность этого способа состоит в том, что вместе с порошком из контейнера выбрасывается капсула с порошком и зарядом ВВ, снабженным электродетонатором короткозамедленного действия. Этот заряд взрывается через заданное время вне контейнера и расширяет окружающее его предохранительное облако. Однако из-за сравнительно больших временных интервалов замедлений между отдельными сериями штатных ЭДКЗ невозможно обеспечить способу необходимое быстродействие, например, взорвать заряд в облаке через 2 мс после выбрасывания контейнера.

Из всех попыток все же наиболее прогрессивным направлением создания порошковой завесы оказалось взрывное распыление порошков из легкоразрушающихся, например, полиэтиленовых сосудов, т.е. по принципу создания водораспылительной завесы.

Первая попытка создания такого вида порошковых завес была сделана в 1965 г. Х.И. Жаботинским. Позже этот способ был усовершенствован КО ВостНИИ. Распыление порошка (ПСБ-2) осуществлялось из специальных пакетов, собранных из стандартных полиэтиленовых ампул, заполненных порошком.

В 1986 г. МакНИИ совместно с Киевским госуниверситетом и производственно-экспериментальным управлением по БВР (ПЭУ БВР) была разработана на основе высокоэффективных ингибиторов аэрозольная порошковая завеса, которая доведена до промышленного внедрения и было допущено Госнадзорохрантруда Украины к постоянному применению.

Контрольные вопросы и задания.

1. Каким способом формируется предохранительная завеса и почему?
2. Что такое предохранительная среда?
3. Каков механизм прекращения развития воспламенения по тепловой и цепной теории?
4. Дайте определение и назовите основные составляющие компоненты дисперсной системы.
5. Что такое флегматизация, ингибирование?
6. Что такое флегматизатор, ингибитор?
7. Перечислите виды обрыва цепей реакции воспламенения.
8. Назовите, дайте определение и приведите значение критерия флегматизации МВС жидкими и порошковыми веществами.
9. Назовите, дайте определение и приведите значение критерия флегматизации МВС газообразными веществами.
10. Назовите, дайте определение и приведите значение критерия флегматизации ПВС.
11. Каков принцип действия завес?
12. Перечислите этапы создания предохранительных завес.
13. Какие существуют способы создания предохранительной среды?
14. Какими достоинствами обладает взрывной способ распыления флегматизаторов?

Лекция 8. Динамика формирования предохранительной завесы посредством взрывного распыления флегматизаторов из полиэтиленовых сосудов

8.1 Введение

Основными параметрами предохранительных завес являются:

- величина упреждения начала распыления флегматизатора по отношению к взрыву шпуровых зарядов ВВ, т.е. время, через которое можно взрывать врубовые заряды после взрыва распыляющего заряда;
- пространственная схема размещения снаряженных полиэтиленовых сосудов в призабойном пространстве, т.е. их расстояние от боков и кровли выработки и между собой;
- количество флегматизатора в одном сосуде (пакете);
- общий расход флегматизатора на создание предохранительной завесы;
- время эффективного действия предохранительной завесы.

Для определения этих параметров, т.е. для установления общих принципов предупреждения взрывов посредством предохранительной среды необходимо, прежде всего знать общие закономерности динамики формирования дисперсной системы взрывом, т.е. динамику предохранительной завесы.

8.2 Физическая модель процесса взрывного распыления веществ

С целью получения общих закономерностей процесса формирования дисперсной системы жидких, и различных по плотности и свойствам порошковых веществ в лабораторных условиях был изучен процесс взрывного распыления порошков плотностью от 107 до 1620 кг/м³ и жидкостей плотностью до 2150 кг/м³ из полиэтиленовых сосудов вместимостью от $2 \cdot 10^{-3}$ до $25 \cdot 10^{-3}$ м³. Размеры сосудов выбирались из условия размещения заданного объема флегматизатора равномерным слоем вокруг распыляющего заряда ВВ. Роль последнего на первом этапе исследований выполнял патрон угленита Э-6 массой 0,2 кг.

Заряд взрывался в свободно подвешенном состоянии и с помощью скоростной киносъемки регистрировалась динамика формирования предохранительного облака.

В отдельных сериях опытов съемка велась в двух взаимно перпендикулярных ракурсах. Использовались кинокамеры СКС-1М и Киев-16у. Скорость съемки составляла 300...700 и 64 кадров в секунду соответственно.

По полученным кинограммам распыления для каждого опыта строились изохронные эпюры (совмещенные кинограммы), служащие для определения радиуса облака, распространяющегося в направлениях вдоль и перпендикулярно оси распыляющего заряда, через заданные промежутки времени после начала распыления (рис.8.1).

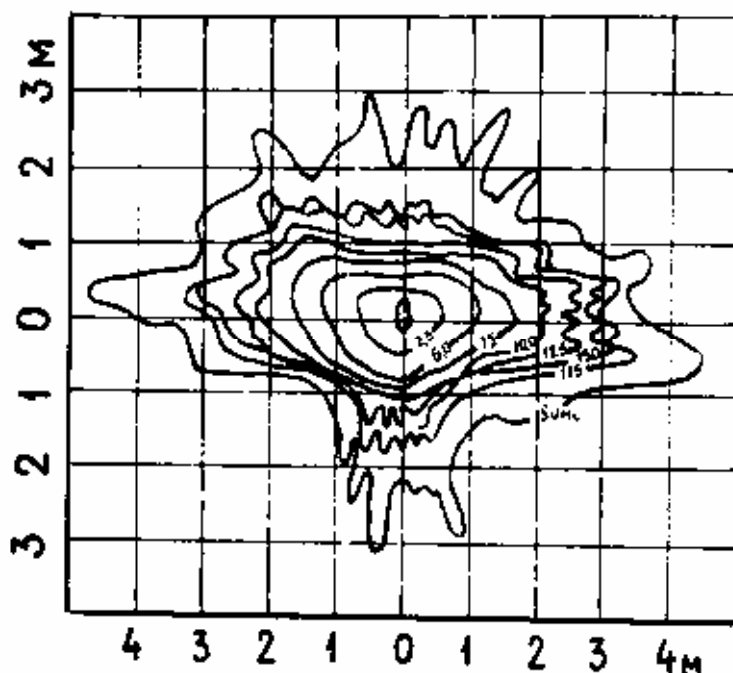


Рис. 8.1. Типові ізохронні епюри вибухового розпилювання речовин.

Результаты обработки экспериментального материала (более 100 кинограмм) и учет общих принципов теории многофазных сред позволили предложить следующую рабочую модель механизма разлета сферического предохранительного облака под действием взрыва.

В течении первых $0,3 \dots 1,0$ мс после детонации распыляющего заряда ВВ продукты взрыва расширяются достаточно медленно, в результате чего в приграничной области порошок может измельчаться и даже переходить в текучее состояние.

Затем начинается процесс ускорения твердой (жидкой) фазы под воздействием продуктов взрыва, взаимоперемешивание фаз, образование двухфазного потока.

Согласно современным теоретическим представлениям, а также экспериментальным исследованиям в смежных отраслях и направлениях (физики детонационного напыления, взрывного прессования и др.), эта стадия развития предохранительного облака может протекать по следующей схеме.

Одновременно с расширением продуктов взрыва формируется взрывная волна сжатия, состоящая из ударной волны и сопутствующего потока газообразных продуктов взрыва, обладающих высокой температурой и давлением, которая производит на окружающую среду воздействие ударного характера. В момент подхода волны к стенкам полиэтиленового сосуда последний разрывается.

Большая часть энергии преобразуется в кинетическую, расходуемую в дальнейшем на перемещение (расширение) сжатого волной порошка во всех направлениях. Часть энергии, многократно отражаясь от передней и задней границ раздела сред, накладывается на фронт ударной волны и приводит в конечном счете, к его затуханию (релаксации).

Газообразные продукты взрыва проходят через порошок как через полупроницаемую стенку. С течением времени зона релаксации расширяется и, наконец, обе фазы движутся с одинаковыми скоростями.

После полного перемешивания фаз и образования однородного двухфазного потока происходит отставание, опережающего его вначале, ударного фронта газа из-за действия сил аэродинамического сопротивления, разницы плотностей и соответственно кинетических энергий. В результате частицы дисперсной фазы в двухфазном потоке начинают фильтроваться сквозь газообразные продукты взрыва. Эта стадия заканчивается за время, прямо пропорциональное массе распыляемой оболочки при прочих равных условиях, но не позже 2,5 мс.

В дальнейшем явление расширения облака протекает преимущественно за счет приобретенного импульса и частично за счет давления газов.

Лишь с этого момента встречный поток воздуха (метановоздушной смеси) начинает проникать внутрь облака. Двухфазный поток в результате проникновения в него встречного потока окружающей среды начинает интенсивно расширяться. Этот процесс заканчивается через 3,5...10,0 мс в зависимости от массы распыляемой оболочки.

К этому моменту начинается перестройка метаемой массы: наиболее крупные частицы порошка вырываются вперед и образуют отдельные струи, в которые втягиваются и более мелкие частицы. Однако таким образом движется только часть порошка. Другая же образует слой, как бы подпирающий отдельные струи, длина которых изменяется во времени в пределах 0,2...1,5 м. Неровный передний фронт в свою очередь, способствует более интенсивному проникновению окружающей среды внутрь облака.

В результате движения дисперсного состава и прорыва через него окружающей среды происходит интенсивное перемешивание частиц порошка (капель жидкости), воздуха (метановоздушной смеси) и продуктов взрыва, что приводит к образованию трехфазного потока и к росту облака диспергированных частиц. В свою очередь это приводит к росту аэродинамического сопротивления и, как следствие, резкому торможению процесса расширения через 25...40 мс от начала распыления. В последующие промежутки времени размер облака практически не возрастает.

Предельный радиус облака зависит от различных факторов, однако во всех случаях не превышает 5,1 м (из кинограмм следует, что максимальная дальность распространения продуктов взрыва заряда ВВ без оболочки не превышает 1,7 м).

Системный анализ полученных результатов показывает, что процесс формирования предохранительного облака в значительной степени зависит от типа распыляемого вещества, его плотности, и толщины оболочки вокруг распы-

ляющего заряда. Так, например, для песка в случае увеличения толщины оболочки наблюдается снижение скорости распыления; для вермикулита, наоборот, - увеличение, для хлористого натрия вначале увеличение, а затем уменьшение. Однако при применении в качестве распыляющего заряда, например, детонирующего шнура во всех случаях с увеличением толщины оболочки или уменьшением величины заряда (количество нитей ДША) скорость распыления и предельный радиус облака уменьшались.

Радиус облака изменяется во времени (t) по экспоненте следующего вида (рис. 8.2):

$$R_0 = A * e^{(-b/t)}, \quad (8.1)$$

где R_0 - максимальный радиус облака в направлении перпендикулярном оси распыляющего заряда ВВ, м;

t - время от начала подачи электрического импульса во взрывную сеть, мс.

Параметр A является асимптотой кривой, а параметр b определяет ее крутизну (скорость достижения облака своих предельных размеров). Они зависят от типа и величины распыляющего заряда ВВ, а также от структуры и массы распыляемой навески флегматизатора. Устанавливаются экспериментально путем киносъемки процесса формирования предохранительного облака при срабатывании данного устройства.

$$r_0 = 0,5 \cdot R_0,$$

где r_0 - радиус облака вдоль оси распыляющего заряда.

Значения коэффициентов A и b в уравнении при распылении порошкового вещества взрывом 0,2 кг угленита Э-6 приведены в табл. 8.1.

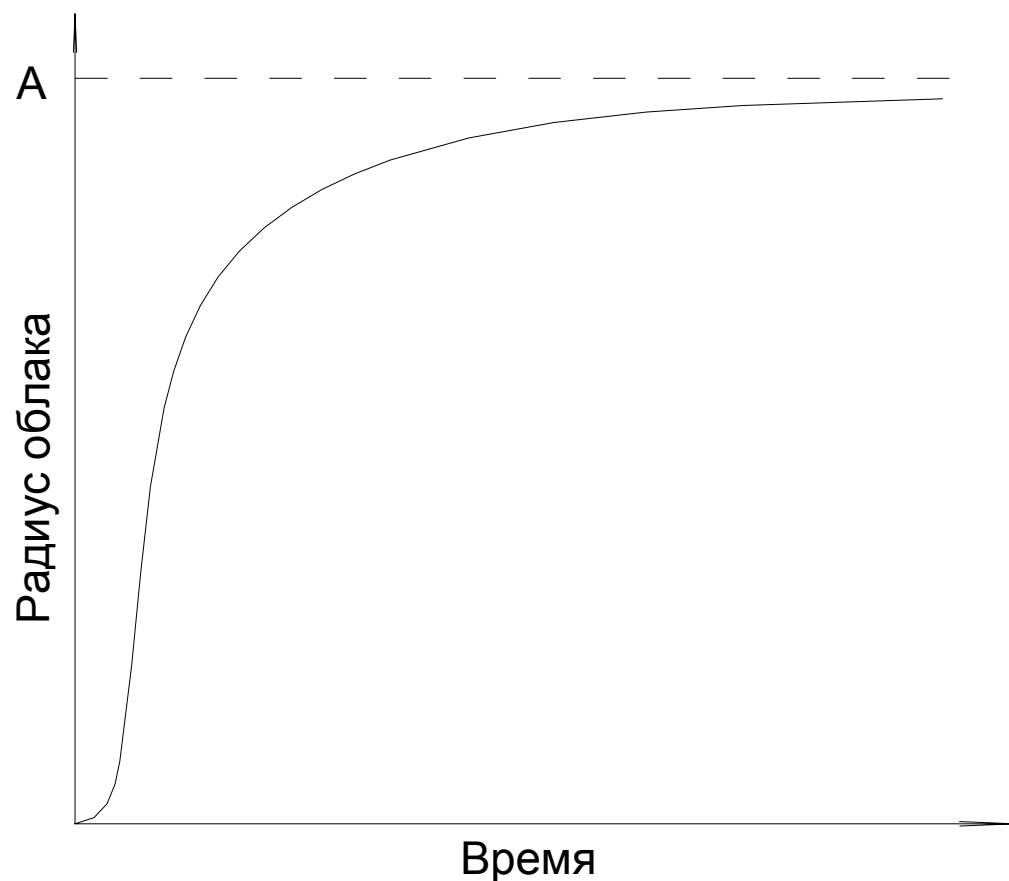


Рис. 8.2 Динамика формирования предохранительного облака под действием взрыва свободно подвешенного заряда в окружении флегматизатора.

Таблица 8.1

Значение коэффициентов в уравнении (8.1)

I	I	I	I	I	I	I
I M, кг	I	A, I	b	I	I	I
I	I	I м	I	I	I	I

I 0	I	1.7	I 1.2	I	I	I
I 0.5	I	2.5	I 1.8	I	I	I
I 2.0	I	3.2	I 2.1	I	I	I
I 3.0	I	4.3	I 3.0	I	I	I
I 8.0	I	5.1	I 6.8	I	I	I

Среднее значение объема пламегасящего предохранительного облака рассчитывают по формуле:

$$V_{\text{ср}} = 2R_o \cdot F_o, \quad (8.2)$$

где F_o - средняя площадь поперечного сечения облака

$$Fo = pR_o^2/4 + 1$$

Тогда

$$V_{o_{cp}} = 2R_o(pR_o^2/4 + 1) \quad (8.3)$$

Предельное значение объема облака равно

$$V_{opr} = 2,1 R_o^3 \quad (8.4)$$

8.3 Диаграмма распыления

Таким образом динамика формирования предохранительного облака (дисперсной системы) во времени носит строго индивидуальный характер для каждой распыляемой взрывом системы.

Однако, если принять в качестве определяющего критерия массу распыляемой взрывом 0,2 кг угленита Э-6 порошковой навески, то независимо от насыпной плотности распыляемого порошкового флегматизатора и толщины оболочки вокруг распыляющего заряда ВВ все экспериментальные точки укладываются на одну кривую, получившую название “динамическая кривая”, которая является по существу “диаграммой распыления” (рис. 8.3). Она характеризует зависимость максимального радиуса переднего фронта облака от массы порошковой оболочки (М) через различные промежутки времени от начала распыления (t). Зависимость эта экстремальная: с увеличением массы распыляемой взрывом

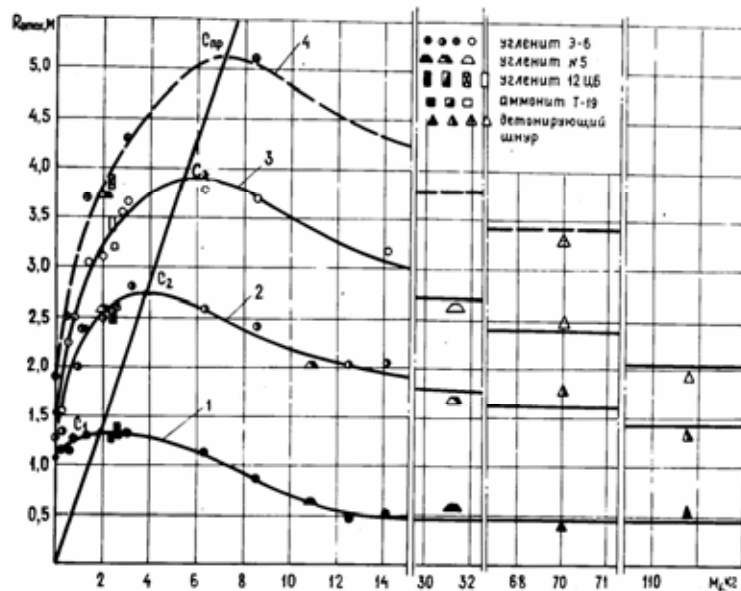


Рис. 8.3. Діаграма розпилювання порошкових флегматизаторів.

R_{max} - максимальний радіус завіси; M_f - приведена маса розпилюваної вибухом порошкової оболонки; t - час після підірвання заряду ВР; (1 - $t = 2,5$ мс; 2 - $t = 10,0$ мс; 3 - $t = 20,0$ мс; 4 - $t = 25...40$ мс рівне початку різкого тормозу процесу розширення завіси).

Своеобразный вид динамической кривой свидетельствует о том, что невозможно однозначно утверждать к какому результату приведет увеличение массы распыляемой одним и тем же зарядом оболочки. Величина радиуса сформированного облака зависит от первоначального места расположения точки на динамической кривой по отношению к максимуму в каждом конкретном случае и величины упомянутых приращений массы оболочки.

В этом плане оказались весьма показательными результаты исследования влияния структуры распыляемых взрывом веществ на скорость формирования облака.

Для иллюстрации сказанного приведем результаты распыления взрывом 0,2 кг угленита Э-6 прессованных под давлением 6 МПа оболочек (шашек). Эти оболочки были изготовлены на основе грубодисперсного хлорида калия удобрительного. Они представляли собой цилиндры высотой 100 мм и массой 0.6 и 1.7 кг (диаметром 80 и 120 мм соответственно) с соосным каналом диаметром 37мм. На один патрон угленита Э-6 нанизывалось по две прессованные шашки, т.е. масса распыляемой оболочки составляла 1.2 и 3.4 кг. Результаты обработки кинограмм сведены в табл. 8.3. Здесь же приведены (для анализа и обобщения), полученные из динамической кривой, максимальные радиусы облака (R_0), которое сформировалось бы при распылении порошковых оболочек такой же массы, как и прессованных, т.е. 1.2 и 3.4 кг, а также даны эквивалентные массы порошковых оболочек, при распылении которых облако имело бы размеры, равные тем, которые были получены при распылении прессованных оболочек массой 1.2 и 3.4 кг.

Таблица 8.3

Динамика распыления прессованных под давлением 6 МПа и порошковых оболочек

t, мс	I Параметры распыления при различной I массе оболочки					
	I-----I-----I-----I-----I-----I-----					
	I 1,2 кг			I 3,4 кг		
	I-----I-----I-----I-----I-----I-----					
	I 1	I 2	I 3	I 4	I 5	I 6
	I-----I-----I-----I-----I-----I-----					
2,5	0,30	1,30	--	0,85	1,30	8,2
10,0	2,65	2,35	2,6	2,60	2,70	6,2
20,0	3,25	2,90	1,8	3,60	3,65	9,4
40,0	--	3,30	--	3,80	4,40	--

Колонки табл. 8.3 обозначают следующее:

- 1 - радиус облака при распылении прессованной оболочки, м;
- 2 - R_0 , м;
- 3 - эквивалентная масса, кг;

4 - радиус облака при распыления прессованной оболочки, м;

5 - R_0 , м;

6 - эквивалентная масса, кг.

Из табл. 8.3 видно, что при распылении оболочки массой 1.2 кг ее прессование привело к увеличению размеров предохранительного облака, а при распылении оболочки массой 3.4 кг наоборот - к уменьшению его размеров по сравнению с сыпучей структурой.

Для оценки полученных результатов рассмотрим место расположения распыляемых эквивалентных оболочек на динамической кривой.

Обе исходные навески (1.2 и 3,4 кг) располагаются на левой ветви экстремальной кривой. Однако эквивалентные им порошковые навески оказались по разным сторонам от максимума: первая так и осталась на левой ветви, а вторая – переместилась на правую ветвь. При распылении угленитом Э-6 массой 0,2 кг порошковых оболочек такой же массы, как и прессованных, радиус облака, например, через 20 мс составлял 2,90 и 3,65 м соответственно, а прессованных – 3,25 и 3,60 м соответственно. Это означает, что в первом случае прессование привело к увеличению параметров облака, а во втором – к незначительному его сокращению. Возникает вопрос: “Почему?”. Массы обеих порошковых оболочек расположены на диаграмме распыления слева относительно максимума. Очевидно увеличение прочности оболочки равносильно увеличению массы порошковой оболочки (прессование затрудняет процесс распыления). Будем перемещать точку $R_0 = 2,90$ м, соответствующую $M = 1,2$ кг, вдоль кривой в сторону увеличения массы. Получим, что точка с $R_0 = 3,25$ м осталась на левой ветви кривой и соответствует эквивалентной массе порошковой оболочки равной 1,8 кг. Поэтому скорость распыления возросла. В случае навески равной 3,4 кг перемещение вправо по кривой привело к тому, что $R_0 = 3,6$ м можно получить при распылении порошковой оболочки массой равной 9,4 кг, которая располагается уже справа от максимума. Надо полагать, что при дальнейшем, причем существенном, увеличении плотности прессования (давление больше 6 МПа) можно добиться, что и точка при $M = 1,2$ кг перейдет на правую ветвь и, например, при эквивалентной массе равной порядка 40 кг радиус облака окажется меньше чем при порошковой.

Таким образом, увеличение прочности (сил сцепления между частицами) распыляемой взрывом оболочки равносильно увеличению при прочих равных условиях ее массы.

Поэтому можно сделать вывод, что снижение сыпучести должно всегда приводить к сокращению радиуса облака, достигаемого в течение заданного промежутка времени, при распылении значительных (более $M_{опт}$) масс оболочек или к увеличению радиуса - при распылении небольших (значительно менее $M_{опт}$) масс оболочек.

В тоже время экспериментально доказано, что водные растворы поверхностноактивных веществ (ПАВ) обладают более высокими баллистическими свойствами, чем чистая вода. Об этом свидетельствуют, в частности, данные по динамике распыления 2 кг водного раствора ПАВ "Прогресс" (пенообразовате-

ля ПО-1А) с различным содержанием активного вещества. В табл. 8.4 приведены значения радиуса облака через 20 мс от начала распыления.

Таблица 8.4

Баллистические свойства водного раствора ПАВ

Содержание активного вещества в растворе, %	Радиус облака, м I
0	2,5
3	2,5
6	3,1
28	3,1

Это означает, что снижение поверхностного натяжения распыляемой взрывом жидкой системы приводит не к снижению, а к увеличению радиуса облака, хотя значения R_0 как при нулевом, так и заданном содержании ПАВ остаются на левой ветви диаграммы распыления порошков, приведенной на рис. 8.3. Этот результат обусловлен следующим. Снижение поверхностного натяжения воды приводит при взрывном распылении не только к уменьшению эквивалентной массы, при которой достигаются такие же размеры облака, как и при распылении воды большей массы, но и одновременно к увеличению степени диспергирования жидкости (росту количества капель), а следовательно, к увеличению размера облака. Поэтому все опорные точки динамической кривой для воды, в том числе положение максимума, в действительности иные, чем для порошков - левая ветвь будет короче. На этой кривой масса распыляемой водяной оболочки будет располагаться напротив правой ветви диаграммы, а точки масс оболочки из водного раствора ПАВ – на ее левой ветви, причем ближе к максимуму ($M_{\text{опт}}$).

В заключение следует отметить, что диаграммой распыления (см. рис. 8.2) можно пользоваться как номограммой при решении различных практических задач.

Задача 8.1 Определить приведенную массу распыляемой взрывом 0.2 кг аммонита Т-19 порошковой навески массой 5 кг.

Решение.

Определяем количество теплоты, выделяющейся при взрыве

$$Q_{\text{зар}} = q * m_{\text{зар}},$$

где q - удельная теплота взрыва (для аммонита Т-19 $q = 34,1 * 10^5$ Дж/кг).

$$Q_{\text{зар}} = 34,1 * 10^5 * 0,2 = 6,82 * 10^5 \text{ Дж}$$

Определяем время детонации заряда

$$\phi_{\text{зар}} = l_{\text{зар}}/D,$$

где $l_{\text{зар}}$ - длина заряда (патрона) ВВ

$$(l_{\text{зар}} = 0,17 \text{ м});$$

$$D - \text{скорость детонации } (D = 4150 \text{ м/с})$$

Подставив получим

$$\phi_{\text{зар}} = 0,17/4150 = 41,0 \cdot 10^{(-6)} \text{ с}$$

Определяем критерии эффективности распыляющего заряда.

$$\begin{aligned} f_{\text{зар}} &= \frac{M_{\text{зар}}}{(\phi_{\text{зар}})^{1/2}} \cdot (Q_{\text{зар}})^{3/2} = \\ &= \frac{0,2}{[41,0 \cdot 10^{(-6)}]^{1/2}} \cdot (6,82 \cdot 10^5)^{3/2} = \\ &= 175,61 \cdot 10^8 \text{ кг} \cdot \text{с}^{(-1/2)} \cdot \text{Дж}^{3/2} \end{aligned}$$

Определяем приведенную массу

$$M_f = M \cdot \frac{f_{\text{эт}}}{f_{\text{зар}}} = 5 \cdot \frac{88,3 \cdot 10^8}{175,61 \cdot 10^8} = 5 \cdot 0,503 = 2,52 \text{ кг}$$

Это означает, что динамика распыления 5 кг порошка взрывом 0,2 кг аммонита Т-19 будет такая же, как при распылении навески массой 2,52 кг взрывом 0,2 кг угленита Э-6.

Задача 8.2 Определить массу навески флегматизатора, при распылении которой взрывом 0,2 кг угленита Э-6 достигаются максимально возможные размеры облака (экстремум) через 30 мс после начала распыления.

Решение.

$$M_{\text{фопт}} = 38 \cdot t^{1/2} \cdot \frac{f_{\text{зар}}}{f_{\text{эт}}}$$

т.к. $f_{\text{зар}} = f_{\text{эт}}$, то

$$M_{\text{фопт}} = 38 \cdot (30 \cdot 10^{-3})^{1/2} \cdot 1 = 38 \cdot 0,173 = 6,54 \text{ кг}$$

8.4 Энергетический критерий эффективности распыляющего заряда

Учитывая, что в практических условиях могут применяться, в зависимости от назначения взрывопредотвращающего устройства (см. рис. 7.1), различные типы и величины распыляющих зарядов ВВ, необходимо было установить па-

параметр, характеризующий эффективность действия свободно подвешенного заряда ВВ при взрыве его в окружении флегматизатора, т.е. энергетический критерий эффективности распыляющего заряда ВВ ($f_{зар}$). Знание этого критерия позволяет диаграмму распыления сделать универсальной.

Для решения этой задачи были обобщены результаты исследования динамики взрывного распыления различных навесок порошковых ингибиторов зарядами из угленитов Э-6, N5,12ЦБ; аммонита Т-19 и детонирующего шнура различной массы.

В результате математической обработки экспериментальных данных установлено, что

$$f_{зар} = \frac{m_{зар} \cdot (Q_{зар})^{3/2}}{(\tau_{зар})^{1/2}} = \frac{m_{зар}^{5/2} \cdot q_{ВВ}^{3/2} \cdot D^{1/2}}{\ell_{зар}^{1/2}} =$$

$$= m_{зар} \cdot Q_{зар} (Qt)^{1/2}, \text{ кг} \cdot \text{с}^{(-1/2)} \cdot \text{Дж}^{(3/2)}, \quad (8.8)$$

где $f_{зар}$ - энергетический критерий эффективности распыляющего заряда ВВ;

$m_{зар}$ - масса распыляющего заряда, кг;

$\tau_{зар}$ - время детонации распыляющего заряда, с;

$Q_{зар}$ - количество теплоты, выделяющейся при взрыве заряда, Дж;

Qt - тепловая мощность взрыва, Дж/с.

При равенстве энергетических критериев размеры предохранительного облака будут одинаковы при распылении равных по величине навесок вещества независимо от типа и массы распыляющего заряда.

Энергетический критерий дает возможность описать процесс взрывного распыления веществ устройствами, показанными на рис. 7.1, универсальной диаграммой распыления. Такая диаграмма позволяет прогнозировать параметры процесса формирования предохранительного облака независимо от характеристики используемых при этом средств распыления флегматизаторов.

Для построения универсальной диаграммы распыления было введено понятие приведенной массы распыляемой навески (M_f), то есть навеска, при распылении которой эталонным зарядом ВВ формируется предохранительное облако с такими же пространственными параметрами, как и в случае распыления фактической (заданной) навески (M) конкретным зарядом ВВ, а именно:

$$M_f = M \cdot \frac{f_{эт}}{f_{зар}}, \quad (8.9)$$

где M - фактическая масса распыляемой навески;

M_f - приведенная масса распыляемой навески;

$f_{зар}$, $f_{эт}$ - энергетический критерий данного и эталонного распыляющего заряда соответственно.

В качестве эталонного распыляющего заряда был принят взрыв 0,2 кг угленита Э-6, для которого $f_{эт} = 88.3 \cdot 10^8 \text{ кг} \cdot \text{с}^{-1/2} \cdot \text{Дж}^{3/2}$. С учетом этого критерия были рассчитаны приведенные массы распыляемой навески массой 0.2...14.1 кг

порошковых ингибиторов ПСБ-3, ПСБ-ТМ, ПВХ-1н и др. взрывом заряда из угленита Э-6, N5, 12ЦБ, аммонита Т-19 массой 0.20...0.45 кг и детонирующего шнура длиной 2.1...4.2 м. Оказалось, что, все экспериментальные точки укладываются на экстремальную кривую, полученную для случая 0,2 кг угленита Э-6.

В общем виде формула (8.5) примет вид

$$M_{\text{фопт}} = 38t^{1/2} \frac{f_{\text{зар}}}{f_{\text{эт}}}, \text{ кг} \quad (8.10)$$

Таким образом, физико-математическая модель механизма формирования дисперсной системы взрывным способом позволяет с использованием энергетического критерия эффективности распыляющего заряда ВВ установить оптимальный режим распыления и прогнозировать максимально возможные размеры облака при распылении заданной оболочки. При этом в случае угленита Э-6 за массу оболочки при решении этой задачи принимается величина, отложенная на оси абсцисс диаграммы распыления, а в случае других распыляющих зарядов фактическая оболочка в начале заменяется на приведенную и уже по ее величине находится искомый радиус. Например, при распылении порошкового флегматизатора массой 8 кг взрывом заряда с $f_{\text{зар}} = 2f_{\text{эт}}$ размеры облака окажутся такими же, как при распылении порошкового флегматизатора массой 4 кг взрывом 0,2 кг угленита Э-6.

8.5 Роль преграды на динамику формирования предохранительной завесы

В практических условиях сформированное взрывом предохранительное облако диспергированных частиц встречается на каком-то этапе своего расширения с забоем, кровлей и боками выработки. Какой параметр изменяется при встрече с преградой больше всего: скорость формирования, радиус облака, его объем или сразу несколько параметров? Для ответа на эти и другие вопросы были проведены необходимые эксперименты.

Основные исследования проведены в модели горной выработки, собранной из рам арочной металлической крепи, установленные через каждые 1,0 м в ленточном бетонном фундаменте. Верх выработки открытый, а одна торцевая стенка (забой) полностью закрыта металлическим щитом. Фактическая площадь поперечного сечения модели выработки составляла 10,4 м².

Взрывоподаватель (см. рис. 7.1) подвешивался непосредственно на отражательной стенке, а также на расстояниях 0,8 и 2,8 м от нее.

Результаты обработки кинограмм распыления веществ свидетельствуют, что преграда не оказывает влияния ни на размеры предохранительного облака, ни на скорость его формирования в свободных направлениях (она как бы отсекает часть сформированного на открытой площадке облака) (рис. 8.4).

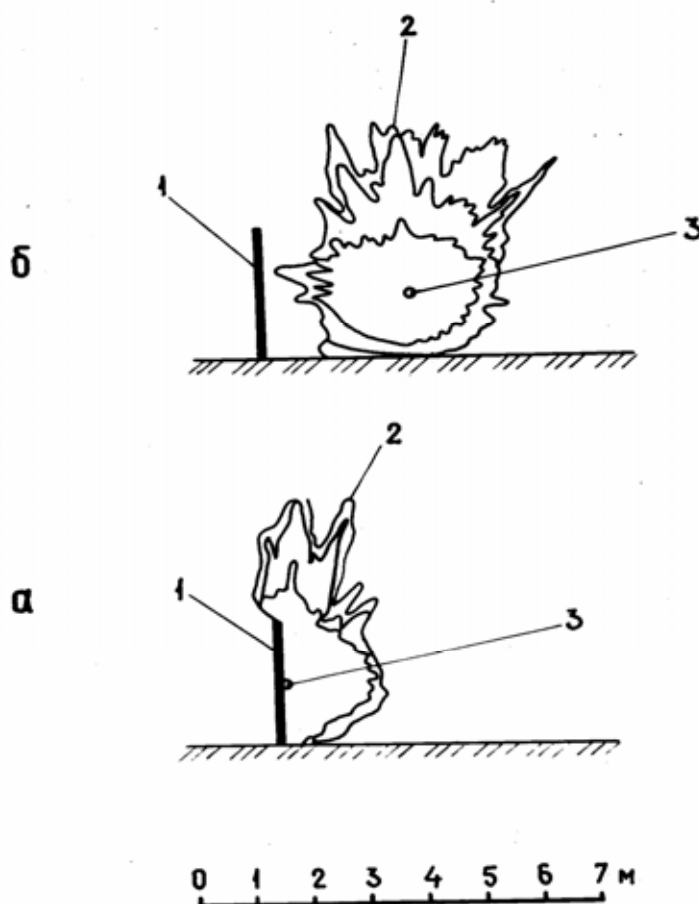


Рис. 8.4. Изохронні епюри роста запобіжної завіси поблизу вертикальної перешкоди (інтервал між ізолініями 15 мс): а - відстань від простого вибухоподавлювача до перешкоди 2,8м; б - вибухоподавлювач підвішен безпосереднє біля перешкоди.

Для подтверждения данного результата была проведена скоростная киносъемка процесса выбрасывания взрывом 0,1 кг аммонита Т-19 и угленита Э-6 различных видов забойки длиной 0,35...0,50 м из каналов двух установленных вертикально (расстояния между ними около 0,6 м) стальных мортир. В качестве забойки использовался гидрокарбонат натрия на полное сечение, в патронированном виде (диаметр патронов 38 мм) и в виде тетраэдров.

Как следует из полученных кинограмм и изохронных эпюр, оба облака накладываются друг на друга, а не раздвигаются.

В заключение была проведена серия экспериментов, в которых простейший взрывоподаватель, снаряженный различным флегматизатором, подвешивался в опытном штреке на различном расстоянии от его устья (открытого торца).

Распыляющий заряд инициировался электродетонатором мгновенного действия ЭДКЗ-ОП. Для контроля начала распыления снаружи штрека взрывался (в поле зрения кинокамеры) такой же электродетонатор.

В качестве распыляющегося заряда использовался патрон угленита Э-6 массой 0,2 кг.

После взрывания устанавливалось с помощью скоростной киносъемки время начала выхода облака из опытного штрека. Кроме того, по уравнению (8.1) или из диаграммы распыления рассчитывался радиус облака, которое образовалось бы за это же время при распылении на открытой площадке (R_0).

Результаты опытов в штреке и данные расчета сведены в табл. 8.5.

Таблица 8.5

Сравнительные данные по распылению веществ в опытном штреке и на открытой площадке

Наименование (тип) флегматизатора	Масса распыляемой материи, кг	Расстояние от взрыво- подавателя до устья штрека, м	Время на- чала вы- хода об- лака из трубы штрека, мс	R_0 , м
ПСБ-2	3,0	4,0	37	4,2
Песок	3,0	2,5	11	2,7
-//-/-	3,0	3,0	17,6	3,4
-//-/-	3,0	4,0	22,6	3,7
Вода	2,0	2,52	10,0	2,2
-//-/-	2,0	2,0	8,4	2,1

Как видно из табл. 8.5, прямые эксперименты убедительно подтверждают полученный на основании анализа кинограмм (см. рис. 8.3) вывод о том, что радиус облака вдоль выработки (в свободном направлении) остается примерно таким же, как и при распылении на открытой площадке.

Полученные данные имеют большое практическое значение. Они свидетельствуют о том, что протяженность созданного с помощью сферического взрывоподавателя облака в призабойном пространстве выработки должна определяться по формуле

$$\ell_{\text{пс}} = R_0 + l_{\text{п}}, \quad (8.11)$$

где $\ell_{\text{пс}}$ - протяженность предохранительной завесы вдоль оси выработки, считая от забоя;

R_0 - радиус облака через заданный промежуток времени от начала распыления на открытой площадке;

$l_{\text{п}}$ - расстояние от места размещения (подвески) сосудов (пакетов) с флегматизатором до забоя выработки ($l_{\text{п}} \leq R_0$).

Таким образом, в результате проведенных экспериментальных исследований найдены определяющие критерии процесса взрывного распыления веществ и аналитически описан этот процесс, что позволило предупредить аварийных ситуаций поставить на промышленную основу.

Контрольные вопросы задания

1. Для чего необходимо знать динамику формирования предохранительной завесы?
2. Назовите основные опорные временные параметры в динамике распыления.
3. По какому закону происходит взрывное распыление флегматизаторов?
4. Как рассчитывается объем предохранительного облака?
5. Что такое приведенная масса распыляемой оболочки? Как она рассчитывается?
6. Как зависит скорость формирования предохранительного облака от массы распыляемой навески флегматизатора?
7. От каких параметров зависит энергетический критерий распыляющего заряда ВВ?
8. От каких параметров зависит величина оптимальной навески флегматизатора, распыляемой взрывом?
9. Что характеризует диаграмма распыления и какова ее роль в прогнозировании параметров предохранительной завесы?
10. Какова роль преграды на динамику формирования предохранительных завес?

Лекция 9. Средства и схемы создания предохранительных завес при взрывных работах

Изложены в следующих нормативных документах:

- «Инструкция по применению водораспылительных завес при взрывных работах в угольных шахтах». – Макеевка – Донбасс: Изд. МакНИИ, 1984. – 21 с.;
- «Инструкция по созданию предохранительных аэрозольных (порошковых) завес при взрывных работах в угольных шахтах». – Макеевка – Донбасс: Изд. МакНИИ, 1989. – 21 с.;
- «Дополнения и изменения к инструкции». – Макеевка – Донбасс: Изд. МакНИИ, 1994. – 6 с.;
- «Сборник нормативных документов по взрывным работам в угольных шахтах». – Макеевка-Донбасс: Изд. МакНИИ, 2000. – 291 с.

9.1 Принцип расчета

Каждый снаряженный сосуд должен самостоятельно обеспечивать создание предохранительной завесы в защищаемом участке выработки. Применение нескольких сосудов обусловлено только размерами защищаемого пространства.

Казалось бы, чтобы установить общий расход флегматизатора на предотвращение воспламенений, необходимо флегматизирующую концентрацию умножить на объем флегматизируемого пространства. Например, чтобы привести во взрывобезопасное состояние призабойный участок выработки сечением 10 м² протяженностью 4 м с помощью ингибитора КСВ-30 ($C_{\phi} = 13,5$ г/м³), полагали, что следует распылить всего $13,5 \cdot 4 \cdot 10 = 540$ г. Однако практика дает расходы примерно на порядок большие.

Это означает, что

$$Q_{\text{пс}} > C_{\phi} \cdot V_{\text{пс}}, \quad (9.1)$$

где $Q_{\text{пс}}$ - общий расход флегматизатора на создание предохранительной завесы;

$V_{\text{пс}}$ - объем флегматизируемого призабойного участка выработки.

Очевидно

$$V_{\text{пс}} = \ell_{\text{пс}} \cdot S_{\text{вч}}, \quad (9.2)$$

где $\ell_{\text{пс}}$ - протяженность предохранительной завесы, считая от забоя выработки;

$S_{\text{вч}}$ - поперечное сечение выработки в черне.

Такой результат обусловлен с одной стороны длительностью процесса взрывания забойного комплекта шпуровых зарядов ВВ, а с другой – нестационарностью предохранительного облака – концентрация флегматизатора в нем непрерывно снижается. Следовательно, оптимальная с позиций обеспечения высокого быстродействия вместимость одного полиэтиленового сосуда должна проверяться на способность размещенного в нем флегматизатора предотвращать воспламенение метана и угольной пыли.

Поэтому величину навески флегматизатора в одном сосуде выбирают из следующего условия:

$$M_{\text{псм}} \leq (M_{\text{пс}} \approx M_{\text{фопт}}) \geq M_{\text{псу}}, \quad (9.3)$$

где $M_{\text{фопт}}$ – оптимальная величина распыляемой навески флегматизатора, при которой обеспечивается максимально возможное быстрое действие системы;

$M_{\text{пс}}$ – количество флегматизатора в одном сосуде (емкость сосуда);

$M_{\text{псм}}$ – величина распыляемой навески, обеспечивающая флегматизацию МВС;

$M_{\text{псу}}$ – величина навески, при распылении которой взвешенная в рудничной атмосфере угольная пыль становится невзрывчатой.

Рассмотрим методы определения этих параметров, т.е. $M_{\text{псм}}$ и $M_{\text{псу}}$. (метод расчета $M_{\text{фопт}}$ рассмотрен в 8.4).

9.1.1 Общий расход флегматизатора на предотвращение воспламенений метана

Для установления общей закономерности изменения концентрации флегматизатора в призабойном пространстве выработки при взрывном способе распыления была проведена серия экспериментов в опытном штреке МакНИИ.

Во взрывной камере, заполненной взрывчатой метановоздушной смесью, на заданном расстоянии от днища равном 1,5...4,5 м (как правило 2,0...3,0 м) подвешивался простейший взрывоподавитель, представляющий собой полиэтиленовый сосуд, в котором размещен патрон угленита Э-6 массой 0,2 кг, окруженный заданным флегматизатором определенной массы (как правило, 1,0...12,5 кг) (рис. 9.1).

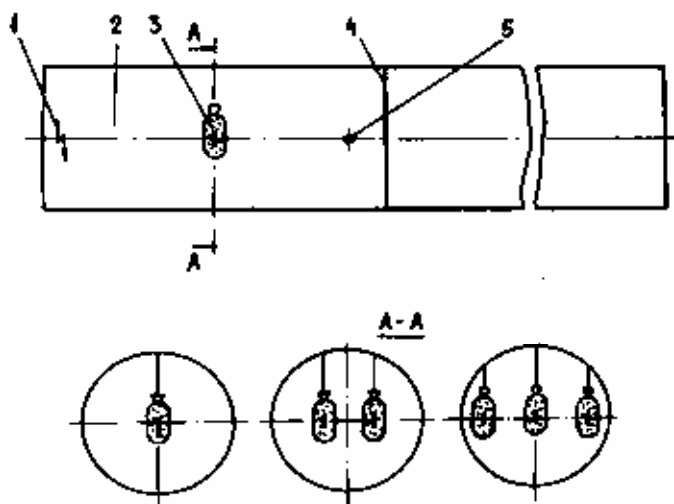


Рис. 9.1. Схема локалізації спалахів в дослідному штреку

1 – діафрагма; 2 – вибухова камера; 3 – фотодіод; 4 – простий вибухоподавлювач; 5 – електрозапальнич ("капелька").

На расстоянии равном примерно 0,3 м от днища штрека подвешивался "слабый" источник воспламенения. Его роль выполнял электровоспламенитель

ЭД ("капелька"). От одного и того же электрического импульса, т.е. одновременно (разброс не превышал 0,2 мс) взрывался распыляющий заряд ВВ и срабатывал источник воспламенения. В результате происходило встречное развитие очага воспламенения и пламегасящего облака. Проведением серии экспериментов по принципу артиллерийской пристрелки устанавливалась минимальная навеска вещества, при распылении которой достигалось предотвращение взрыва. Этот результат фиксировался фотодиодом и по отсутствию оплавления полиэтиленовых пленок-свидетелей.

Наблюдения за состоянием оплавления полиэтиленовых пленок-свидетелей и расчеты исходя из динамики развития очага воспламенения и предохранительного облака показали, что радиус сферического пламени, развившегося к моменту начала его гашения (встречи с пламегасящим облаком) составлял в экспериментах 0,5...0,7 м, т.е. практически оставался постоянным при всех значениях R и по своим параметрам являлся насыщенным источником воспламенения.

В то же время установлено, что при удалении центра взрывного распыления флегматизатора (снаряженного сосуда) от днища штрека (при увеличении расстояния R) расчетная концентрация флегматизатора в штреке имеет постоянное значение только в том случае, если при ее определении за величину объема предохранительного облака принять объем, который сформировался бы на открытой площадке. Если же за этот объем брать объем пламегасящей среды в штреке, то с увеличением R концентрация будет возрастать, что противоречит здравому смыслу - ведь мощность источника (размер очага воспламенения) практически остается в этом случае постоянной. Такое принципиальное различие обусловлено тем, что предохранительное облако (дисперсная система) при достижении стенок опытного штрека не останавливается, а продолжает непрерывно расширяться, что и приводит к снижению концентрации флегматизатора в метановоздушной смеси.

Из этого вытекает фундаментальный вывод о том, что при формировании в горной выработке предохранительной завесы взрывом заряда ВВ концентрация флегматизатора в рудничной атмосфере будет уменьшаться во времени по закону расширения облака в неограниченном пространстве (на открытой площадке) - отраженные частицы (капли) увеличивают концентрацию только вблизи стенок, а законы гравитации начинают играть существенную роль только после полного прекращения расширения облака.

Поэтому среднюю фактическую концентрацию флегматизатора (дисперсной фазы) в предохранительной завесе (дисперсной системе), формируемой взрывом в горной выработке, в любой момент времени после начала распыления следует рассчитывать по формуле:

$$C_i = \frac{M_{\text{пс}}}{V}, \text{ кг/м}^3, \quad (9.4)$$

V_{ot}

где C_i – концентрация флегматизатора в заданный момент времени в атмосфере после начала распыления;

V_{ot} - объем предохранительного облака, сформировавшегося на открытой площадке в течении заданного отрезка времени t .

Очевидно, что для предотвращения воспламенения метановоздушной смеси необходимо, чтобы

$$C_i \geq C_{\phi} \quad (9.5)$$

Это означает, что расход флегматизатора на предотвращение воспламенения газовоздушной смеси в выработке одним взрывоподавитель должен рассчитываться по следующей формуле:

$$M_{псм} = C_{\phi} * V_{ot} \quad (9.6)$$

При расчете V_{ot} за величину t принимают необходимое время эффективного действия предохранительной завесы, то есть время, в течение которого возможно появление источника воспламенения при взрывных работах.

По физическому смыслу параметр $M_{псм}$ - это минимальное количество флегматизатора, которое необходимо разместить в одном сосуде, чтобы его концентрация в призабойном пространстве выработки через заданный промежуток времени от начала распыления, например, через 220 мс после начала взрывания шпуровых зарядов ВВ, оставалась равной флегматизирующей (C_{ϕ}).

Среднюю концентрацию флегматизатора в призабойном пространстве к моменту достижения передним фронтом предохранительного облака контура выработки принято называть взрывопредотвращающей ($C_{в}$).

Очевидно

$$C_{в} = \frac{M_{псм}}{V_{пс}} = C_{\phi} \frac{V_{ot}}{V_{пс}}, \quad (9.7)$$

По своему физическому смыслу параметр $C_{в}$ есть удельный расход флегматизатора по отношению к защищаемому пространству выработки.

Представим $V_{ot} = l_{пс} * F_{ot}$,

где F_{ot} - средняя площадь поперечного сечения предохранительного облака, сформировавшегося на открытой площадке в течение заданного отрезка времени t .

Подставив значения $V_{пс}$ и V_{ot} в формулу (9.7) получим

$$C_{в} = C_{\phi} * \frac{F_{ot}}{S}$$

Отношение $C_{в}/C_{\phi}$ принято называть коэффициентом потерь или коэффициентом запаса ($K_{п}$) по отношению к минимально необходимому расходу флегматизатора на предотвращения воспламенения метановоздушной смеси.

Очевидно

$$K_{\Pi} = \frac{C_{\text{в}}}{C_{\text{ф}}} = \frac{V_{\text{от}}}{V_{\text{пс}}} = \frac{F_{\text{от}}}{S_{\text{вч}}} \quad (9.8)$$

Обратная величина коэффициента потерь ($1/K_{\Pi}$) определяет долю распыленного флегматизатора, находящуюся во взвешенном состоянии в призабойном пространстве выработки через заданный отрезок времени t .

Тогда

$$C_{\text{в}} = C_{\text{ф}} * K_{\Pi} \quad (9.9)$$

Из этой формулы следует, что взрывопредотвращающая концентрация есть не что иное, как увеличенная в K_{Π} раз флегматизирующая концентрация с тенденцией

$$C_{\text{в}} \rightarrow C_{\text{ф}}$$

Необходимость такого увеличения начальной концентрации флегматизатора обусловлена, как видно из приведенных формул, тем, что процесс гашения продуктов взрыва (источника воспламенения) протекает не мгновенно, а может длиться в течении времени, численно равного времени действия очага (источника) воспламенения, а также различием форм и размеров защищаемого пространства выработки и предохранительного облака. Последнее зависит, в первую очередь, как видно из динамической кривой (см. рис. 8.3), от баллистики взрывопредотвращающих устройств (энергетических параметров распыляющего заряда и массой распыляемой навески).

Задача 9.1

Необходимо зафлегматизировать призабойный участок в выработке сечением 10 м^2 на длине $4,0 \text{ м}$. В качестве флегматизатора применяется ингибитор КСВ-30, для которого $C_{\text{ф}} = 13,5 \text{ г/м}^3$. Общее время взрывания шпуровых зарядов равно 220 мс . Распыление взрывное – из пакетов вместимостью $5,5 \text{ кг}$. Определить общий расход флегматизатора для предотвращения воспламенения метановоздушной смеси в призабойном пространстве выработки (в пределах сформированной завесы).

Решение.

Определяем объем призабойного участка выработки

$$V_{\text{пс}} = l_{\text{пс}} * S = 4 * 10 = 40 \text{ м}^3$$

Определяем $V_{\text{от}}$ через 220 мс после начала распыления по величине $R_{\text{опр}}$, установленной из динамической кривой (см. лекцию 8).

$$\Pi(R_{\text{опр}})^2$$

$$V_{от} = V_{опр} = 2R_{опр} \cdot \left(\frac{\pi \cdot (4,9)^2}{4} + 1 \right) =$$

$$= 2 \cdot 4,9 \cdot \left(\frac{\pi \cdot (4,9)^2}{4} + 1 \right) = 194,5 \text{ м}^3$$

Определяем величину флегматизирующей навески

$$M_{псм} = C_{ф} \cdot V_{опр} = 13,5 \cdot 194,5 = 2626 \text{ г}$$

Коэффициент потерь будет равен

$$K_{п} = \frac{V_{опр}}{V_{пс}} = \frac{194,5}{40} = 4,9$$

9.1.2 Общий расход флегматизатора на предотвращение взрыва угольной пыли

Под термином пыль следует понимать совокупность тонкодисперсных частиц органического или минерального происхождения.

Проверку эффективности средств взрывозащиты по пылевому фактору осуществляют в условиях, имитирующих процесс нейтрализации пылевоздушного облака, сформировавшегося в результате разрушения взрывом шпуровых зарядов ВВ или механическим способом угольного пласта, т.е. из незафлегматизированной угольной пыли.

Поэтому необходимо знать количество флегматизатора, которое следует заложить в дополнительную систему взрывозащиты с тем, чтобы после его распыления даже незафлегматизированная взвешенная в атмосфере угольная пыль была нейтрализована, т.е. оказалась бы невзрывчатой.

Заменив в формуле (7.1) для определения $D_{ф}$ величины навесок соответствующими концентрациями получим

$$D_{ф} = \frac{C_{ву}}{C_{ву} + C_{уп}} \cdot 100 \%, \quad (9.10)$$

где $C_{ву}$ - концентрация флегматизатора в пылевоздушном облаке, при которой взвешенная в рудничной атмосфере угольная пыль становится невзрывчатой;

$C_{уп}$ - концентрация угольной пыли в атмосфере.

Произведем математические преобразования с формулой (9.10):

$$D_{ф} \cdot (C_{ву} + C_{уп}) = 100 C_{ву}$$

$$D_{ф} \cdot C_{ву} + D_{ф} \cdot C_{уп} = 100 C_{ву}$$

$$C_{ву} \cdot (100 - D_{ф}) = C_{уп} \cdot D_{ф}$$

Тогда

$$C_{уп} \cdot D_{ф}$$

$$C_{\text{ву}} = \frac{\quad}{100 - D_{\text{ф}}}, \text{ кг/м}^3, \quad (9.11)$$

Эксперименты показали, что данная формула справедлива при $C_{\text{ву}} \leq 300 \text{ г/м}^3$: при увеличении концентрации пыли в атмосфере от этой наиболее взрывчатой величины расход флегматизатора уменьшается как при ее снижении. Поэтому при экспериментальной проверке эффективности средств взрывозащиты пылевоздушная смесь создается из расчета получения концентрации угольной пыли в атмосфере примерно равной $0,3 \text{ кг/м}^3$, при котором требуется максимальное значение $C_{\text{ву}}$.

Положив в формуле (9.11) $C_{\text{ву}} = 0,3 \text{ кг/м}^3$ получим, что предотвращение взрыва наиболее взрывоопасной пылевоздушной смеси достигается при следующей концентрации флегматизатора

$$C_{\text{ву}} = \frac{0,3 D_{\text{ф}}}{100 - D_{\text{ф}}}, \text{ кг/м}^3 \quad (9.12)$$

Учитывая, что в справочной литературе приводится норма осланцевания (N) (см. 12.2), то с учетом запаса по безопасности формулу (9.12) можно представить в виде

$$C_{\text{ву}} = \frac{0,3 N}{100 - N}, \text{ кг/м}^3 \quad (9.13)$$

Учитывая, что заданное соотношение между угольной пылью и флегматизатором в процессе расширения предохранительного облака практически не изменяется, минимальный расход флегматизатора для предотвращения воспламенения взвешенной угольной пыли при взрывных работах будет равен

$$M_{\text{псу}} = C_{\text{ву}} \cdot V_{\text{у}},$$

где $V_{\text{у}}$ – объем пылевоздушного облака после взрывания шпуровых зарядов ВВ.

Строгое определение параметра $V_{\text{у}}$ невозможно. Учитывая, что разрушение горного массива при короткозамедленном (замедленном) взрывании шпуровых зарядов ВВ начинается примерно от центра забоя к его периферии (от врубовых до оконтуривающих шпуров), полагаем, что облако имеет форму конуса с площадью основания равной площади поперечного сечения выработки вчерне и высотой численно равной протяженности предохранительной завесы вдоль оси выработки ($l_{\text{пс}}$).

$$\text{Тогда} \quad M_{\text{псу}} = \frac{1}{3} C_{\text{ву}} \cdot S_{\text{вч}} \cdot l_{\text{пс}} \quad (9.14)$$

Как было установлено для водораспылительной завесы $l_{\text{пс}} = 4,5 \text{ м}$, а для аэрозольной порошковой $l_{\text{пс}} = 4,0 \text{ м}$.

9.1.3 Последовательность операций по установлению величины распыляемой навески флегматизатора (вместимости эластичного сосуда):

- а) выбирают средства для создания завесы (флегматизатор, распыляющий заряд ВВ, типоразмер сосуда);
- б) устанавливают (из справочной литературы или экспериментально) показатели флегматизатора (C_{ϕ} , D_{ϕ} , N) и распыляющего заряда ($l_{\text{зар}}$, D , $q_{\text{ВВ}}$, $m_{\text{зар}}$);
- в) определяют величину оптимальной навески флегматизатора ($M_{\text{фопт}}$) методом, изложенным в лекции 8;
- г) рассчитывают по (8.3) объем предохранительной завесы, которая может сформироваться за время действия источника воспламенения ($V_{\text{от}}$);
- д) рассчитывают по (9.4) концентрацию флегматизатора в атмосфере после начала распыления (C_i);
- е) проверяют выполнение условия (9.5) и если оно не соблюдается, то увеличивают массу флегматизатора в сосуде и вновь рассчитывают $V_{\text{от}}$, C_i и снова проверяют условие (9.5) и так далее до его выполнения;
- ж) установленную таким образом навеску флегматизатора ($M_{\text{псм}}$) сравнивают с величиной навески, рассчитанной по формуле (9.14) и большее из двух значений принимают за $M_{\text{пс}}$.

Руководствуясь размерами защищаемого объекта, его конфигурацией и баллистикой взрывопредотвращающего устройства (снаряженного сосуда) разрабатывают схему размещения сосудов, а следовательно, устанавливают их минимальное количество ($n_{\text{пс min}}$).

9.2 Средства для формирования предохранительных завес

Средства создания водораспылительной и порошковой завес, в том числе типоразмеры полиэтиленовых сосудов (пакетов), были установлены изложенным в п. 9.1 методом. Они включены в действующие нормативные документы и, как показали испытания, проведенные в опытном штреке МакНИИ, удовлетворяют условиям (9.3, 9.6 и 9.4).

Для создания водораспылительной завесы применяют полиэтиленовые сосуды (мешки) вместимостью 20 л (первый типоразмер) и 30 л (второй типоразмер). Размеры сосудов в сложенном виде (без воды) равны 500 * 550 и 500 * 750 мм соответственно.

Заполнение сосудов водой и введение во внутрь распыляющего заряда осуществляют в призабойном участке выработки после окончания всех операций по заряданию шпуров перед началом монтажа взрывной сети.

Для создания порошковой завесы применяют полиэтиленовые сосуды (пакеты) вместимостью 3,0 кг (300 * 280 мм) или 5,5 кг (300 * 380 мм) - первый и второй типоразмер соответственно.

Порошок в пакеты расфасовывают, как правило, в заводских условиях или в специализированных мастерских.

Пакеты с порошковым флегматизатором поставляют в шахту герметично закрытыми.

Распыляющие заряды должны вводиться непосредственно в порошковый ингибитор через прорезанное в пакете отверстие и размещаться в центре пакета (в окружении ингибитора).

На первом этапе создания порошковых завес были разработаны и испытаны с положительными результатами в лаборатории МакНИИ и в угольных шахтах сосуды специальной конструкции, позволяющие центрировать заряд ВВ в порошковой ингибиторе без непосредственного контакта с ним. Сосуд выполнен так, что одна часть, служащая карманом для распыляющего заряда, введена в другую часть, служащую полостью для порошкового ингибитора. Однако промышленный выпуск таких сосудов освоить не удалось.

Сосуды с водой вместимостью 30 л разрешается применять только для укладки на почве выработки, а сосуды с водой вместимостью 20 л и пакеты с порошком обоих типоразмеров могут использоваться как в подвешенном состоянии, так и уложенными на почву выработки.

Сосуды (пакеты) изготавливаются из полиэтиленовой пленки толщиной 0,10...0,12 мм в соответствии с техническими условиями.

К порошковым ингибиторам для создания предохранительной завесы предъявляются следующие основные требования:

- нетоксичность и безопасность в обращении;
- химическая стойкость (сохранение основных свойств при длительном хранении);
- структура должна быть непылящей;
- недефицитность.

Поэтому для создания порошковой завесы в качестве ингибитора допущено применять не пылящие и не токсичные взрывоподавляющиеся порошки на основе хлорида натрия, мела или трона с добавкой ПАВ:

- КСВ-30 - механическая смесь хлорида натрия и углекислого кальция с добавкой небольшого количества (доли процента) поверхностно – активного вещества (ПАВ);
- ПСБ-ТМ - трона (состоит из пищевой и каустической соды и молекул воды) с добавкой ПАВ;
- ПВХ-1н - хлорид натрия с добавкой ПАВ

Добавка ПАВ даже в небольших количествах оказывает очень большое влияние на процесс дополнительного измельчения порошка в процессе взрывного распыления. Изменение механических свойств материалов под влиянием ПАВ обусловлено снижением свободной поверхностной энергии и, как следствие, уменьшением работы, необходимой для увеличения поверхности порошков, т.е. для их измельчения. ПАВ попадая в область микротрещины, облегчает развитие микротрещины в трещину разрушения, вследствие снижения им поверхностной энергии.

Для создания предохранительной завесы (водораспылительной и порошковой) могут применяться только такие распыляющие заряды ВВ, которые в свободно подвешенном состоянии даже без окружения ингибитора не способны воспламенять метановоздушную и пылевоздушную смеси.

Поэтому для изготовления распыляющего заряда применяют один патрон (массой 0,20 или 0,25 кг) ВВ V класса (углениты Э-6,13П,13П/1) или VI класса (угленит 10П).

Распыляющий заряд ВВ в сосуде с водой (порошком) должен располагаться следующим образом: в подвешенном - вертикально в центре сосуда так, чтобы толщина слоя воды (порошка) со всех сторон заряда была примерно одинакова; в укладываемом на почву выработки – в случае порошковой завесы – так же, как и в подвешенном, а в случае водораспылительной - в центре на дне сосуда. На почве выработки сосуды должны укладываться таким образом, чтобы распылительный заряд ВВ располагался параллельно забою выработки.

9.3 Схемы создания предохранительных завес в призабойном участке выработки

Достоверно известно, что пламя взрыва МВС может устойчиво распространяться по загазированным каналам размером 5 см и более. Причем экспериментально подтверждено, что при возникновении и развитии воспламенения в призабойном участке тупиковой выработки каналы в предохранительной среде не успевают "захлопнуться" прежде, чем по ним распространится пламя взрыва. Поэтому основное требование к схемам создания предохранительных завес заключается в том, что перед взрыванием шпуровых зарядов предохранительная завеса должна прилегать к забою выработки и перекрывать ее поперечное сечение на протяжении от 4 до 7 м (в зависимости от степени взрывоопасности забоя выработки).

Поэтому при создании предохранительной завесы одним из главнейших параметров является время между началом распыления флегматизатора и началом взрывания шпуровых зарядов по забою выработки. Это время должно быть таким, чтобы к моменту начала взрывания (инициирования), по крайней мере, врубовых зарядов ВВ, т.е. первой серии забойного комплекта шпуровых зарядов, предохранительная завеса должна быть уже сформирована.

Изучение динамики формирования предохранительной среды, а также экспериментальные взрывания в опытном штреке показали, что уже через 15 мс от начала распыления создается предохранительная завеса радиусом 1,8...2,7 м, что превышает возможные на практике поперечные размеры врубовой полости.

Поэтому величина упреждения начала распыления флегматизатора по отношению к взрыву шпуровых зарядов ВВ принята равной не менее 15 мс.

Упреждение распыления флегматизатора по отношению к взрыву шпуровых зарядов ВВ обеспечивается штатными предохранительными электродетонаторами, которые имеют вполне фиксированные серии замедления при раз-

бросе по времени срабатывания равном +7...10 мс. С учетом этого инициирование всех распыляющих зарядов ВВ должно осуществляться предохранительными электродетонаторами мгновенного действия (например, ЭДКЗ-ОП, ЭДКЗ-ОПКМ).

Время замедления электродетонаторов шпуровых зарядов должно составлять с учетом разброса по времени срабатывания не менее:

- а) 30 мс по номиналу (например, посредством применения ЭДКЗ–2ПМ) – в забоях подготовительных выработок с одной открытой поверхностью и в нишах лавы;
- б) 15 мс по номиналу (например, посредством применения ЭДКЗ–1ПМ) - в забоях подготовительных выработок с двумя открытыми поверхностями.

При создании локализирующей предохранительной завесы (см. далее по тексту) разрешается применение в подготовительных выработках с одной открытой поверхностью электродетонаторов мгновенного действия как в зарядах врубовых шпуров, так и в распыляющих зарядах.

При разработке схем (пространственных параметров) размещения сосудов в призабойном участке выработки учитывались не только динамика формирования, но и структура предохранительного облака, степень взрывоопасности выработок и наиболее вероятные участки скопления метана в них.

В частности, анализ кинограмм распыления показывает (рис. 9.2 и 9.3), что профиль расширяющегося под действием взрыва облака имеет неровности (впадины и выступы), которые могут ухудшать взрывозащитное действие завесы. Общеизвестно, что - наиболее вероятно местное скопление метана в выработке возникает в ее верхней части.

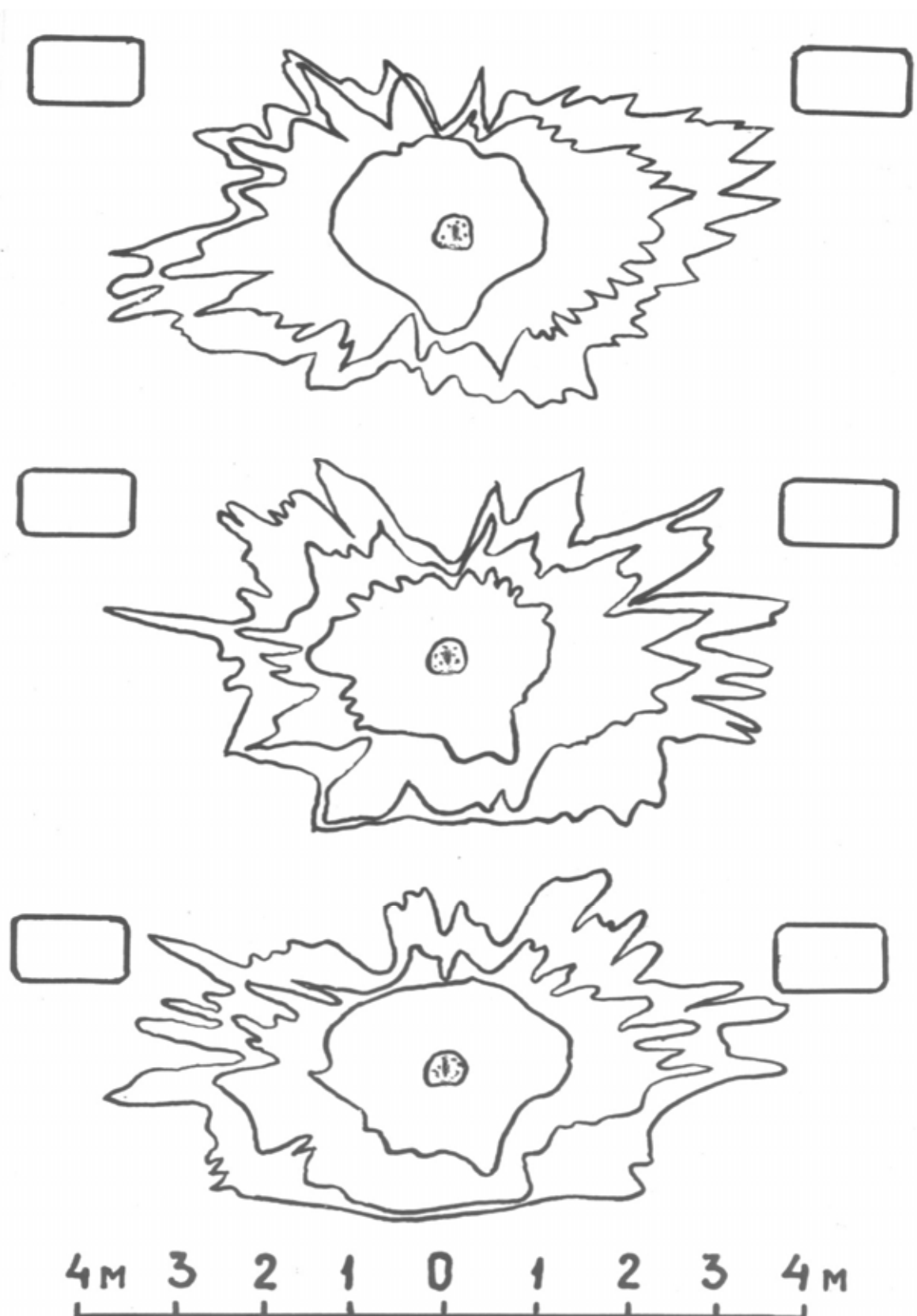


Рис. 9.2 Изохронные эпюры создания порошковой завесы при различных вариантах распыления из подвешенных сосудов

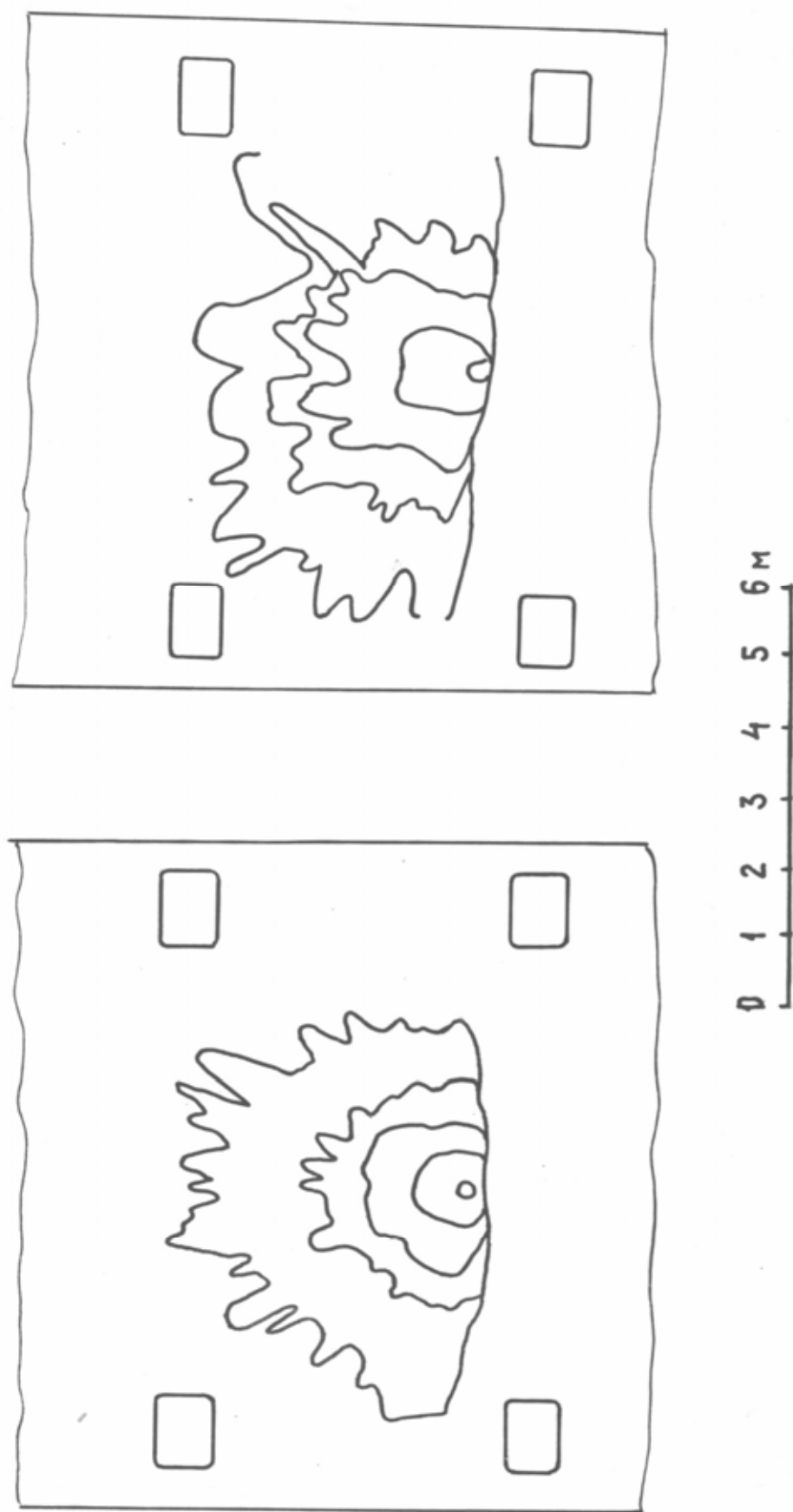


Рис. 9.3 Изохронные эпюры процесса создания водораспылительной завесы из сосудов, уложенных на почве выработки, при различных вариантах распыления.

С учетом всех этих обстоятельств приняты следующие пространственные схемы размещения снаряженных сосудов (пакетов) в выработках (все указанные на схемах расстояния принимаются от центра заряда ВВ):

а) характер размещения сосудов в выработке.

Нормативными документами допускается:

- создавать завесу путем распыления из уложенных на почве выработки сосудов (наиболее простой вариант) допускается только 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 применять одновременно уложенные на почве и подвешенные к крепи сосуды.

Допускается дополнительные с позиции обеспечения заданного расхода флегматизатора сосуды во втором варианте укладывать на почву выработки, а в первом подвешивать к крепи выработки.

б) пространственные параметры размещения сосудов в сечении выработки.

Сосуды должны располагаться:

- от верха выработки не далее 1,5 м;
- от боков выработки не далее 1,5 м для водораспылительной и 1,8 м для порошковой завесы;
- друг от друга в ряду (по ширине выработки) не далее 3,5 м для водораспылительной и 3,0 м порошковой завесы.

При арочной форме поперечного сечения расстояние от верха выработки измеряется по центру (наивысшей точке) независимо от места подвески сосудов.

Нормативное требование к расстоянию сосудов от боков выработки распространяется как для уложенных на почве, так и подвешенных к крепи сосудов.

Во всех случаях расстояние от наиболее удаленных частей забоя до ближайшего сосуда не должно превышать 2,5 м.

в) способ размещения сосудов вдоль оси выработки.

Сосуды вдоль оси выработки размещают в один (рис. 9.4) или два ряда (рис. 9.5), т.е. в одной или двух вертикальных плоскостях.

Двухрядная завеса называется локализирующей. Ее необходимо создавать в особо взрывоопасных условиях, а именно:

- при сотрясательном взрывании;
- при наличии в выработке в пределах 20 м от забоя суффлярных выделений метана;
- при породной подрывке (в двухступенчатом забое).

Необходимость создания двухрядной завесы в этих условиях обусловлено следующим. Созданная при соблюдении предыдущих двух условий однорядная водораспылительная завеса имеет конечную протяженность равную порядка 4,5 м, а аэрозольная порошковая завеса равную порядка 4,0 м. Этой длины достаточно (более чем с двухкратным запасом), чтобы обеспечить локализацию (гашение) расширяющихся раскаленных продуктов взрыва зарядов ВВ (анализ выполненных экспериментов показывает, что предельный радиус разлета раскаленных продуктов взрыва ВВ любой мощности равен 1,25...1,60 м).

В то же время, в принципе, не исключается образование у забоя выработки небольших опережающих полостей из-за его неровности. Кроме того, возможны нарушения параметров создания завесы, например, инициирование шпуровых зарядов в забоях с одной открытой поверхностью будет произведено (по тем или иным причинам) электродетонаторами первой (а не второй) серии замедления или даже мгновенного действия. Это приведет к тому, что между забоем выработки и передним фронтом предохранительной завесы успеет воспламениться при заданной пространственной схеме размещения сосудов (пакетов) от 1,5 до 5,0 м³ смеси в зависимости от мощности и места появления источника воспламенения и сечения

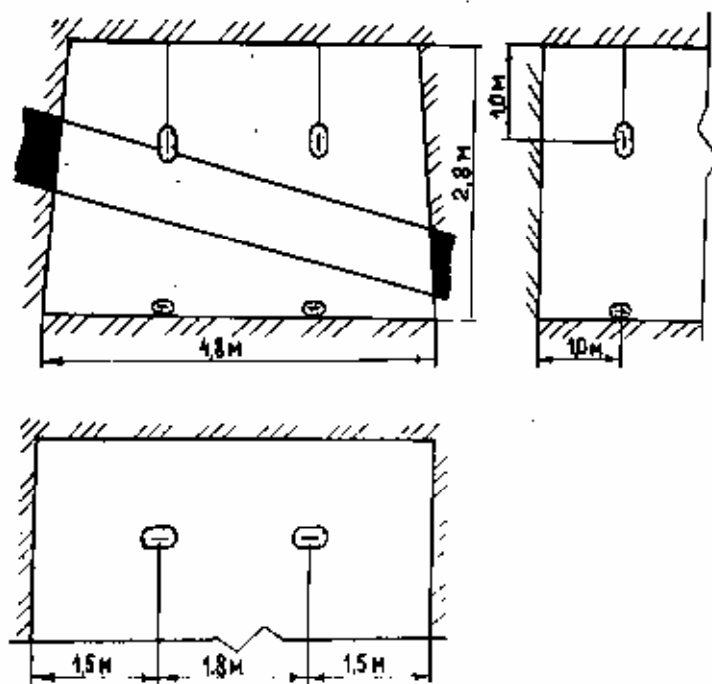


Рис. 9.4. Схема розміщення (варіант) пакетів для утворення запобіжних аерозольних порошкових завіс в небезпечних вибоях виробок з одною відкритою поверхнею.

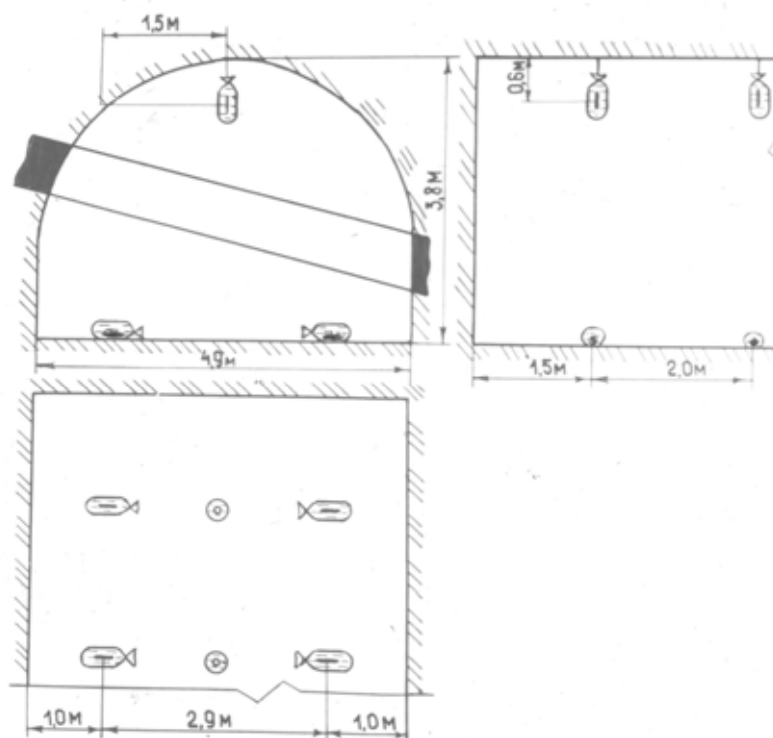


Рис. 9.5. Схема розміщення (варіант) посудів для утворення запобіжних водорозпилюваль-них завіс в особливо небезпечних вибоях виробок з одною відкритою поверхнею.

выработки. Расчеты показали, а эксперименты в опытном штреке подтвердили, что локализация такого объема воспламенившейся у забоя выработки метано- и пылевоздушной смеси достигается (при нормативных расходах флегматизатора) при протяженности предохранительной завесы вдоль оси выработки равной около 7 м, т.е. при двухрядной завесе.

Первый (основной) ряд сосудов при локализации завесы располагают не далее 1,5 м от забоя выработки при водораспылительной и 1,0 м при порошковой завесе. Расстояние между рядами сосудов должно быть равно 2,0 ...2,5 м.

Второй ряд формируется по той же схеме, что и первый.

В забоях подготовительных выработок с двумя открытыми поверхностями (например, при породной подрывке) второй ряд сосудов должен располагаться в опережающей полости (рис. 9.6) при соблюдении упомянутых в п. а, б, в пространственных параметров. В опережающей полости расстояния измеряются по почве пласта (полости).

При такой схеме создания локализирующая завеса уже через 15 мс после создания имеет протяженность вдоль оси выработки равную примерно 7 м, считая от забоя выработки, и способна локализовать очаг воспламенения метановоздушной смеси объемом до 5 м^3 (при однорядной схеме протяженность завесы равна 4,0...4,5 м).

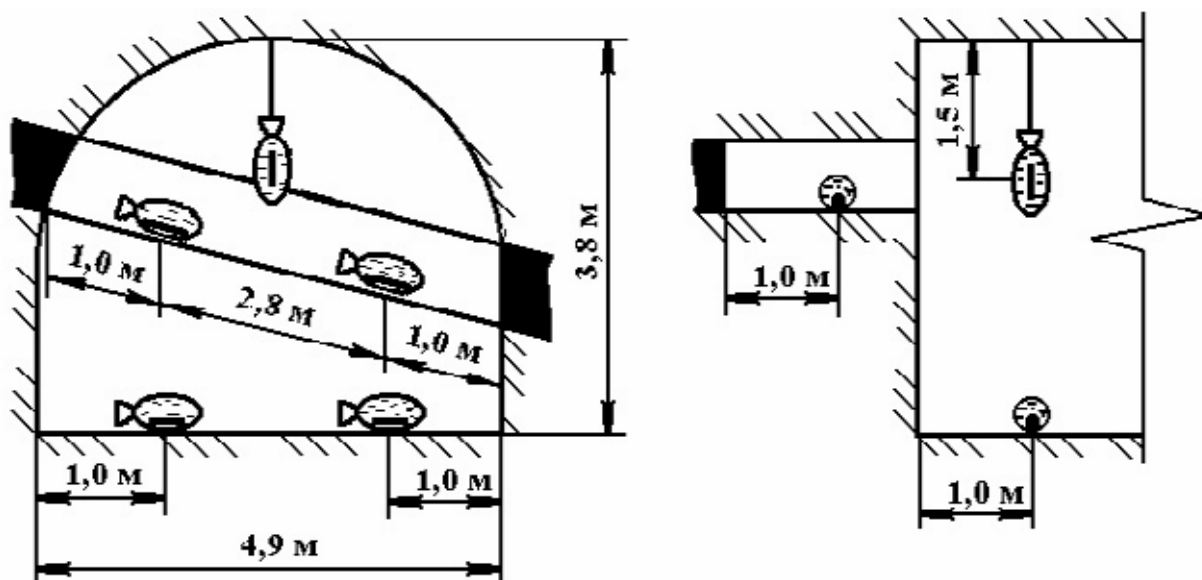


Рис. 9.6 Схема размещения снаряженных полиэтиленовых сосудов для создания водораспылительной завесы при взрывании зарядов ВВ по породной подрывке

Контрольные вопросы и задания

1. Перечислите нормативные документы по созданию предохранительных завес.
2. Что называется взрывопредотвращающей концентрацией и как ее определить?
3. Что называется коэффициентом потерь флегматизатора и как его определить?
4. Чему равен общий расход флегматизатора на предотвращение воспламенения МВС?
5. Как определить концентрацию флегматизатора, при которой взвешенная в атмосфере угольная пыль не взорвется?
6. Чему равен общий расход флегматизатора на предотвращение взрыва угольной пыли?
7. Перечислите средства создания предохранительных завес?
8. Какое требование предъявляют к распыляющему заряду ВВ?
9. Какие порошковые ингибиторы допущены для порошковой завесы?
10. Каково время упреждения начала распыления флегматизаторов по отношению к взрыву шпуровых зарядов и как оно обеспечивается?
11. Сформулируйте основное требование к схеме создания предохранительных завес.
12. Как необходимо размещать снаряженные полиэтиленовые сосуды в поперечном сечении выработке?

13. Как необходимо размещать снаряженные полиэтиленовые сосуды вдоль оси выработки?
14. Что такое "локализирующая завеса" и как она создается?

Лекция 10. Расчет и область применения предохранительных завес

Как было показано в лекции 9, каждое простейшее взрывопредотвращающее устройство (см. рис. 7.1) обеспечивает создание предохранительной завесы в пределах зоны его эффективного действия. Поэтому общий расход флегматизатора на каждый цикл создания завесы (на одну заходку) должен быть в принципе равен произведению вместимости одного полиэтиленового сосуда на их потребное число.

Согласно нормативным требованиям, общее количество снаряженных сосудов (пакетов) для создания предохранительной завесы определено только с позиций обеспечения полного заполнения призабойного пространства выработки распыленным флегматизатором (см. 9.3). Вместе с тем перед допуском предохранительных завес к промышленному применению оставалась нерешенной задача о достаточности размещаемых в призабойном пространстве сосудов для того, чтобы концентрация флегматизатора в пространстве между центрами распыления (на границе предохранительного облака от разных сосудов) в течение всего времени действия источника (очага) воспламенения оставалась не ниже флегматизирующей. Поэтому в нормативных документах введен дополнительный параметр - минимальная норма расходов флегматизатора в виде его удельного расхода на единицу поперечного сечения выработки ($q_{\text{пс}}$).

10.1 Обоснование удельного расхода флегматизатора на создание предохранительных завес в шахтах

Величина удельного расхода была установлена из условий флегматизации метановоздушной смеси и угольной пыли нормативными средствами и за окончательную норму было принято наибольшее из двух значений с учетом определенного запаса по безопасности.

Эта задача была решена следующим путем.

10.1.1 Удельный расход из условий предотвращения взрыва метановоздушной смеси

Был принят следующий порядок решения задачи:

а) установили минимально необходимое время взрывозащитного действия завесы ($\tau_{\text{дс}}$).

Очевидно

$$\tau_{\text{дс}} = \tau_{\text{упр}} + \tau_{\text{зар}} + \tau_{\text{ди}}, \quad (10.1)$$

где $\tau_{\text{упр}}$ - время упреждения распыления флегматизатора ($\tau_{\text{упр}} = 15$ мс);

$\tau_{\text{зар}}$ - общее время взрыва забойного комплекта шпуровых зарядов ($\tau_{\text{зар}} = 320$ мс);

$\tau_{\text{ди}}$ - время возможного действия (существования) взрывного источника

воспламенения.

Экспериментальными исследованиями в различных условиях взрывания установлено, что время воспламеняющего действия продуктов детонации ВВ изменяется от 2...5 мс до 8...10 мс, а очага воспламенения метановоздушной смеси (он может возникнуть при определенных условиях у забоя выработки) - от 75 ... 90 до 90 ... 250 мс, т.е. в среднем равно 165 мс.

Следовательно, время взрывозащитного действия предохранительных завес должно быть не менее $15 + 320 + 165 = 500$ мс ($\tau_{\text{дс}} \geq 500$ мс).

б) установили величину $V_{\text{от}}$ при $t = \tau_{\text{дс}}$.

Из динамики формирования предохранительной завесы следует, что уже через 25...40 мс облако практически достигает своих предельных размеров ($V_{\text{о}} \approx V_{\text{опр}}$). Поэтому за величину $V_{\text{от}}$ был принят объем равный $V_{\text{опр}}$, который зависит от $\tau_{\text{дс}}$ и рассчитывается общепринятым методом.

в) определили минимально необходимый расход ($M_{\text{псм}}$) воды ($C_{\text{фmax}} = 360$ г/м³) и наименее эффективного из рекомендованных для создания аэрозольной порошковой завесы (см. лекцию 9) порошкового ингибитора ПСБ-ТМ ($C_{\text{ф}} = 19.8$ г/м³) для флегматизации метановоздушной смеси.

Результаты расчета необходимого для флегматизации метановоздушной смеси расхода флегматизатора ($M_{\text{псм}}$) по формуле (9.6) путем взрывного распыления его из подвешенных к крепи сосудов (пакетов), а также расчета исходных параметров, т.е. $R_{\text{опр}}$ по формуле (8.1) или из диаграммы распыления (см. рис. 8.3) и $V_{\text{опр}}$ по формуле (8.4) сведены в табл. 10.1

Таблица 10.1

Расход флегматизатора для предотвращения взрыва метановоздушной смеси.

Наименование (шифр) флегматизатора	Вместимость со- судов (пакетов), кг	$R_{\text{опр}},$ м	$V_{\text{опр}},$ м ³	$M_{\text{псм}},$ кг	$q_{\text{м}},$ л/м ² (кг/м ²)
Вода	20	4,2	124,7	44,9	4,28
Порошковый ингибитор ПСБ-ТМ	5,5	4,9	194,5	3,80	0,30
То же	3,0	4,2	124,7	2,5	0,20

г) определили площадь забоя, обрабатываемую одним устройством.

Условно было принято, что эта площадь имеет форму прямоугольника.

Исходя из пространственной схемы расположения подвешенных устройств (см. лекцию 9) она оказалась равной:

- для водораспылительной завесы

$$S_1 = 1,5 * 2 * 3,5 = 10,5 \text{ м}^2$$

- для аэрозольной порошковой завесы

$$S_1 = 1,8 * 2 * 3,5 = 12,6 \text{ м}^2,$$

где $1,5 * 2$ ($1,8 * 2$) м – ширина прямоугольника;

3,5 м – высота прямоугольника.

д) определили минимально необходимый удельный расход

$$(q_{\text{м}} = M_{\text{псм}} : S_1)$$

Результаты расчета сведены в табл. 10.1 (правая колонка).

10.1.2 Удельный расход из условий предотвращения взрыва пылевоздушной смеси

Был принят следующий порядок решения задачи:

а) определили концентрацию флегматизатора в пылевоздушном облаке по формуле (9.12).

При этом для воды приняли $D_f = 17 \%$, для порошкового ингибитора ПСБ-ТМ $D_f = 73 \%$ (как для огнетушащего порошка ПСБ-3).

б) установили минимально необходимый расход флегматизатора с позиции пылевзрывозащиты по формуле (9.14) при $S_{вч} = S_1$.

в) определили удельный расход флегматизатора (q_y) с тех же позиций, что и q_m .

Результаты расчетов сведены в табл. 10.2.

Таблица 10.2

Расход флегматизатора для предотвращения взрыва взвешенной угольной пыли

Вид флегматизатора	I Дф, %	I C_{vy} , г/см ³	I M_{vy} , кг/м ²	I q_y
Вода	17	61,4	1,0	0,10
Порошковый ингибитор	73	811	1.6	1,10

10.1.3 Нормативный удельный расход

На основании данных таблиц 10.1 и 10.2 (правые крайние колонки) нормативный удельный расход (q_{nc}) воды для создания водораспылительной завесы принят равным $4,0 \text{ л/м}^2$ (в более ранних нормативных документах эта величина принималась равной $5,0 \text{ л/м}^2$), т.е. с позиции флегматизации метановоздушной смеси, а нормативный удельный расход порошкового ингибитора для создания аэрозольной порошковой завесы принят равным $1,5 \text{ кг/м}^2$, т.е. с позиции флегматизации взвешенной в рудничной атмосфере угольной пыли.

10.2 Инженерный метод расчета предохранительных завес при взрывных работах в шахтах

Расчет предохранительных завес сводится к определению расхода ВМ, флегматизатора, 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 завесы определяют по следующей формуле:

$$Q_{nc}^I = q_{nc} \cdot S_{вч}, \quad (10.2)$$

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 шпуровые заряды по всему сечению выработки или только по его части, например, по углу), м^2 .

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

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:

$$Q_{nc}^{II} = M_{nc1} \cdot n_{nc1} + M_{nc2} \cdot n_{nc2}, \quad (10.3)$$

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 $Q_{nc}^I \leq Q_{nc}^{II}$, 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}^I .

Если же окажется, что $Q_{nc}^I > Q_{nc}^{II}$, то число сосудов (пакетов), установленное на основании минимально допустимых расстояний, необходимо увеличить на величину с суммарной вместимостью не меньшей разности $(Q_{nc}^I - Q_{nc}^{II})$ 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:

$$Q_{nc\text{ сум.}} = M_{nc1} \cdot n_{nc1\text{ ум}} + M_{nc2} \cdot n_{nc2\text{ ум}}, \quad (10.4)$$

где $n_{nc1\text{ ум}}$, $n_{nc2\text{ ум}}$ – 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

$$M_{\text{вв}} = q_{\text{патр}} \cdot (n_{nc1\text{ ум}} + n_{nc2\text{ ум}}), \text{ кг}, \quad (10.5)$$

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

Потребное количество электродетонаторов на создание предохранительной завесы будет равно

$$N_{\text{эд}} = n_{nc1\text{ ум}} + n_{nc2\text{ ум}}, \text{ шт} \quad (10.6)$$

В формулах (10.5) и (10.6) за величину параметра $n_{nc1\text{ ум}}$ принимаются только активные пакеты.

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

$$Q_{nc}^1 = q_{nc} \cdot S_3, \quad (10.7)$$

где S_3 – площадь опережающего забоя, m^2 ;

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:

$$Q_{nc}^{11} = M_{nc1} \cdot n_{nc1} + M_{nc2} \cdot n_{nc2} \quad (10.8)$$

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

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

- первого типоразмера

$$n_{nc1общ} = \sum n_{nc1ум} \quad (10.9)$$

- второго типоразмера

$$n_{nc2общ} = \sum n_{nc2ум} \quad (10.10)$$

Общий расход флегматизатора на создание завесы в выработке будет равен:

$$Q_{ncобщ.} = Q_{ncум1} + Q_{ncум2} = M_{nc1} \cdot n_{nc1общ.} + M_{nc2} \cdot n_{nc2общ.} \quad (10.11)$$

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

$$M_{вв} = M_{вв1} + M_{вв2}, \text{ кг}, \quad (10.12)$$

где $M_{вв1}$, $M_{вв2}$ – расход ВВ на создание первого и второго ряда предохранительной завесы соответственно.

Общий расход электродетонаторов на создание предохранительной завесы будет равен

$$N_{эд} = N_{эд1} + N_{эд2}, \quad (10.13)$$

где $N_{эд1}$, $N_{эд2}$ – потребное количество электродетонаторов на создание первого и второго рядов предохранительной завесы соответственно.

Расходы $M_{вв1}$ и $M_{вв2}$ определяются по формуле (10.5), а $N_{эд1}$ и $N_{эд2}$ – по формуле (10.6).

Результаты расчета предохранительной завесы сводят в табл.10.3.

Таблица 10.3

Параметры предохранительной завесы

Вид предохранительной завесы	Наименование флегматизатора	Тип ВВ для распыляющего заряда	Общий расход материалов на создание завесы				
			Флегматизатора, л (кг)	Полиэтиленовых сосудов, шт.		ВВ, кг	ЭД, шт
				1-го типа-размера ($n_{пс1 \text{ шт}}$)	2-го типа-размера ($n_{пс2 \text{ шт}}$)		
1	2	3	4	5	6	7	8

Задача 10.1

Разработать схемы создания и рассчитать параметры водораспылительной и 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 вчерне:

площадь поперечного сечения выработки вчерне – $16,0 \text{ м}^2$;

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 электродетонаторы мгновенного действия ЭДКЗ-ОП и все серии электродетонаторов ЭДКЗ-ПМ, а также 4 типа ВВ: аммонит 6ЖВ (масса одного патрона 200 г), аммонит Т-19 (масса одного патрона 300 г), углениты Э-6 и 13П (масса патрона 200 г).

Решение задачи

Расчет для условий повышенной взрывоопасности

1 В этих условиях создаем однорядную водораспылительную или аэрозольную порошковую 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 флегматизаторов – порошковый ингибитор КСВ-30.

3 Рассчитываем предохранительную завесу.

а) расчет по удельному расходу.

Количество воды (порошкового ингибитора) на создание предохранительной завесы определяем по формуле (10.2):

- водораспылительной завесы

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

- аэрозольной порошковой завесы

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

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 (на расстоянии 1,0 м от боков выработки) укладывают два сосуда с водой емкостью 30 л каждый или с порошком емкостью 5,5 кг каждый.

Исходя из разработанной схемы определяем количество флегматизатора на создание завесы по формуле (10.3):

- водораспылительной завесы

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

- аэрозольной порошковой завесы

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

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

- для создания водораспылительной завесы

Расчеты показали, что $Q_{nc}^I < Q_{nc}^{II}$.

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

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

- для создания аэрозольной порошковой завесы

Расчеты показали, что $Q_{nc}^I > Q_{nc}^{II}$ на величину равную

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

Поэтому, в разработанную схему 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. 10.1 и 10.2).

Расчет для 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

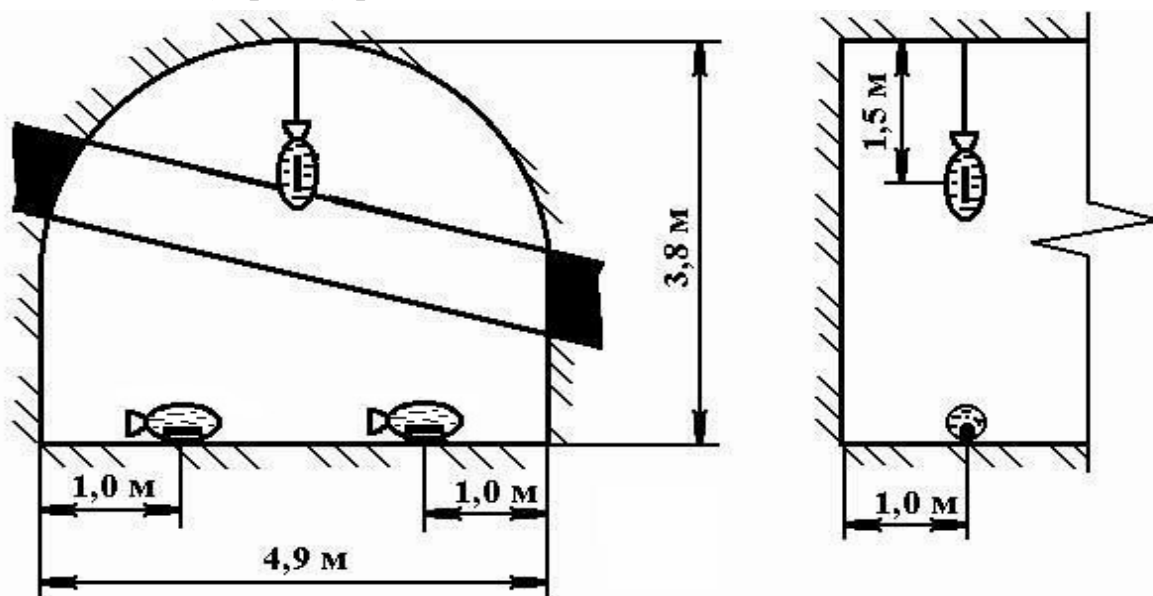


Рис. 10.1 Схема размещения снаряженных полиэтиленовых сосудов в выработке для создания водораспылительной завесы в условиях повышенной взрывоопасности

ряд строим точно по такой же схеме, что и основной (см. рис. 10.1 и 10.2).

Расстояние между рядами вдоль оси выработки принимаем равным 2 м, удаление первого (основного) ряда сосудов от забоя выработки для обоих видов предохранительных завес принимаем равным 1,0 м (рис. 10.3 и 10.4).

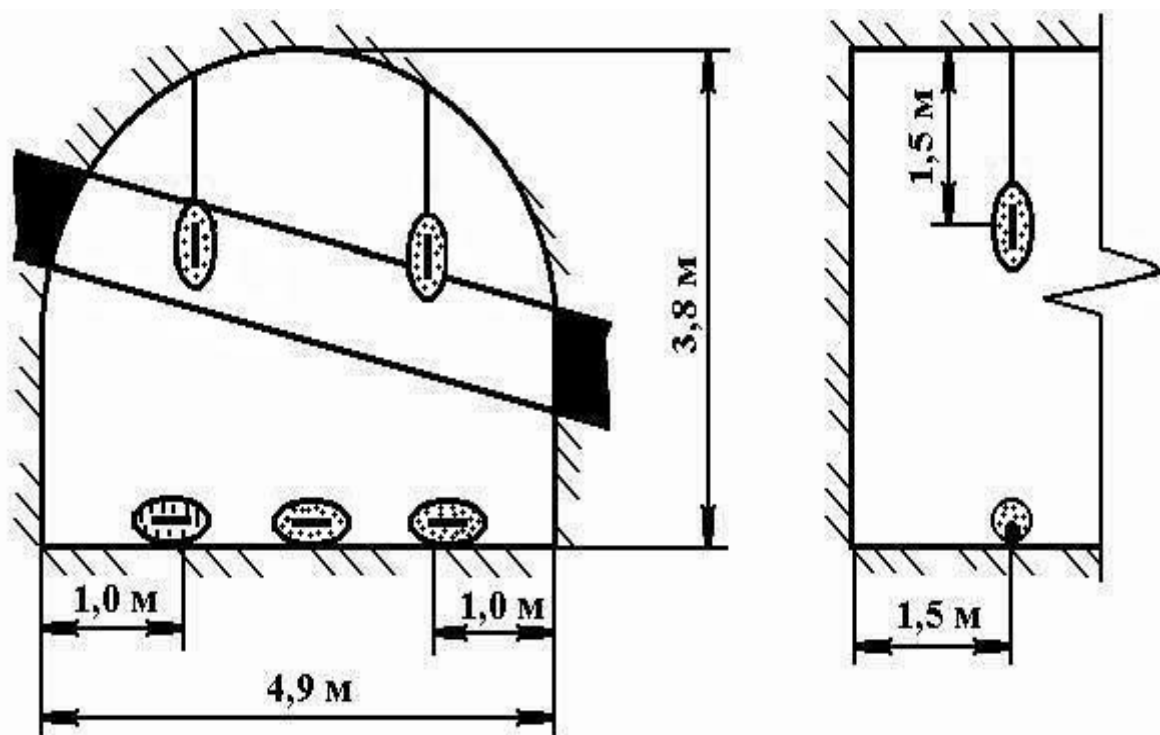


Рис.10.2 Схема размещения снаряженных полиэтиленовых пакетов в

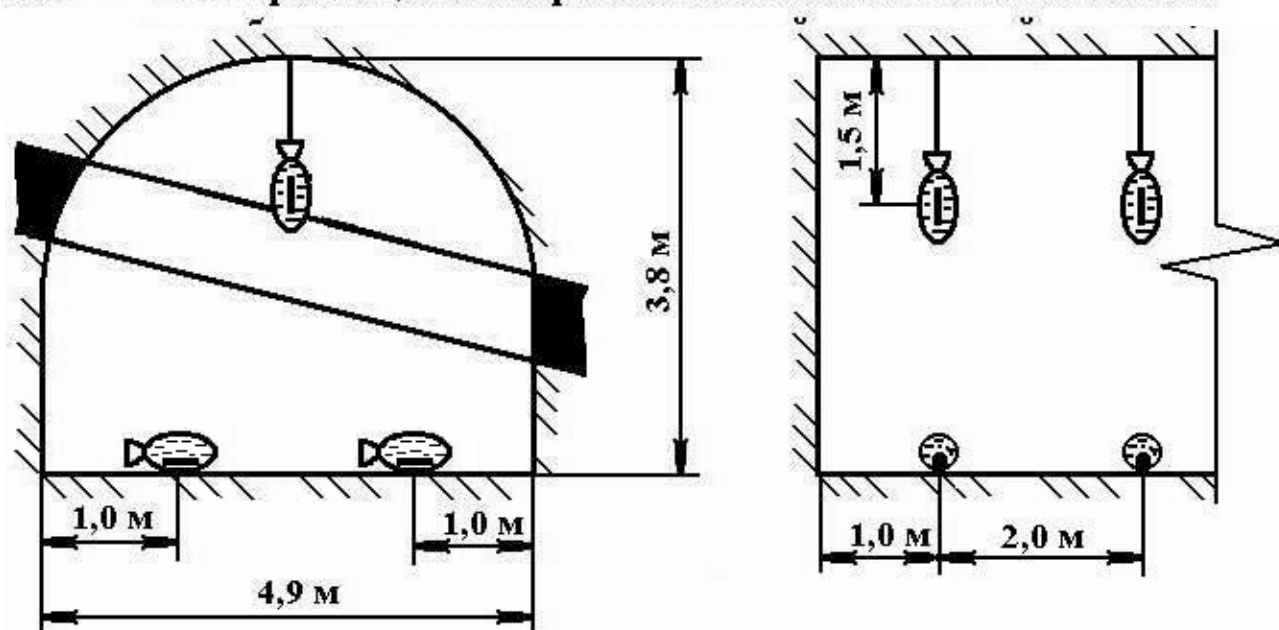


Рис.10.3 Схема расположения снаряженных полиэтиленовых сосудов для создания водораспылительной завесы в особо взрывоопасных условиях

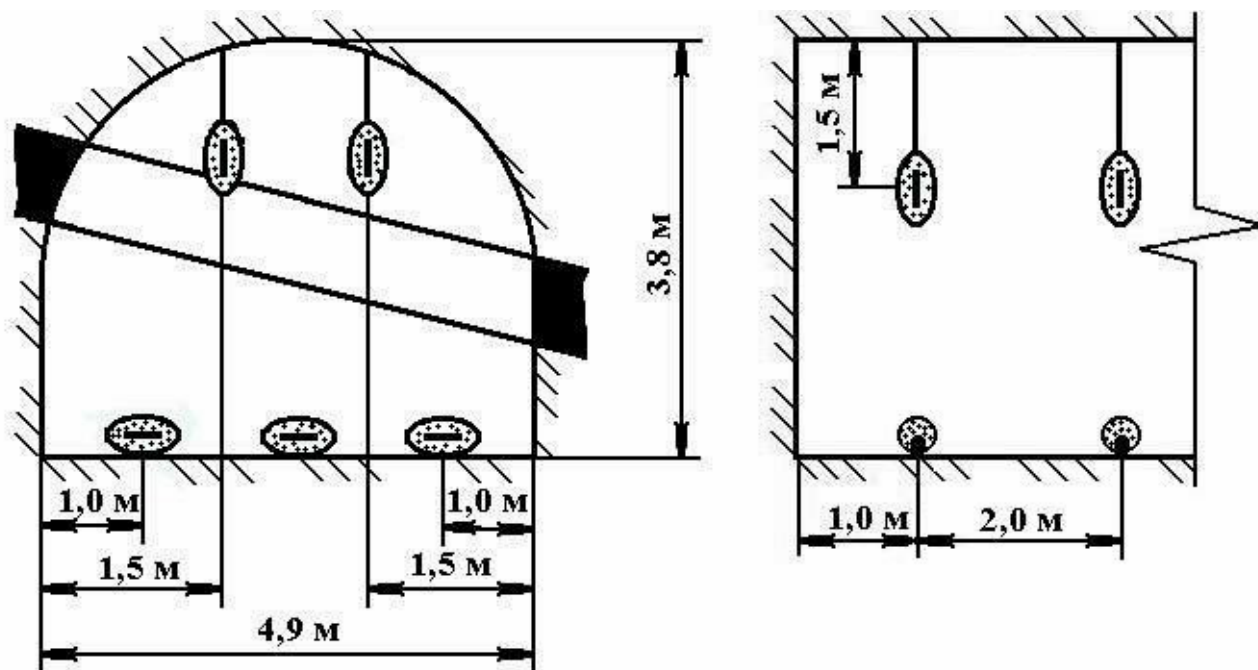


Рис. 10.4 Схема расположения снаряженных пакетов в выработке для создания аэрозольной порошковой завесы в особо взрывоопасных условиях

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

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

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

Параметры предохранительных завес сведены в табл. 10.4.

Таблица 10.4

Параметры предохранительных завес

Вид предохра- нительной заве- сы	Наимено- вание флег- матизатора	Тип ВВ	Общий расход материалов на создание завесы				
			Флегматиза- тора, л (кг)	Сосудов (пакетов), шт.		ВВ, кг	ЭД, шт.
				N _{пс1 ут}	n _{пс2 ут}		
1. В условиях повышенной взрывоопасности							
Водораспыли- тельная	Вода	Угленит 13П	80	1	2	0,6	3
Аэрозольная по- рошковая	КСВ-30	то же	25	1	4	1,0	5
2. В особо взрывоопасных условиях							
Водораспыли- тельная	Вода	Угленит 13П	160	2	4	1,2	6
Аэрозольная по- рошковая	КСВ-30	то же	50	2	8	2,0	10

10.3 Область применения предохранительных завес

Применение предохранительной завесы является обязательным:

а) в угольных и смешанных забоях очистных тупиковых подготовительных выработок, в которых имеется газовыделение или взрывчатая угольная пыль, при использовании ВВ IV класса, а также при использовании ВВ V класса в забоях тупиковых выработок с двумя открытыми поверхностями – при верхней и смешанной подрывке, а при нижней подрывке, если общее время замедления электродетонаторов превышает 80 мс;

б) при вскрытии выбросоопасных пластов;

в) при проведении выработок по выбросоопасным породам с использованием непередохранительных ВВ II класса.

При вскрытии выбросоопасных пород и при проведении выработок по таким породам с использованием ВВ II класса должны применяться водораспылительные завесы в сочетании с водовоздушными завесами (см. лекцию 11). В обводненных забоях (при наличии воды в шпурах) взрывные работы допускается производить без создания предохранительных завес.

Порошковым завесам следует отдавать предпочтение перед водораспылительными при проведении:

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

Сосуды с водой и распыляющим зарядом ВВ или пакеты с порошком и зарядом ВВ, предназначенные для создания предохранительной завесы, разрешается применять для дробления негабаритов, в т.ч. в шахтах, опасных по газу или пыли.

10.4 Организация работ по созданию предохранительной завесы

Схема расположения сосудов (пакетов) в выработке перед взрыванием (в двух проекциях), их типоразмеры и взрывчатые материалы для создания завесы (тип и количество) должны быть указаны в паспорте БВР.

Пакеты с ингибитором доставляются к забоям выработок в контейнерах или бумажных мешках вагонетками или другим способом.

Полиэтиленовые сосуды для создания водораспылительной завесы выдаются мастеру-взрывнику одновременно со взрывчатыми материалами на складе ВМ, согласно наряд-путевке на производство взрывных работ, в которой указывается число сосудов на каждую выработку.

Работа по заливке, укладке и (или) подвеске сосудов с водой производится проходчиками или другими специально проинструктированными рабочими, выделенными в помощь мастеру взрывнику.

Введение заряда ВВ в сосуд, залитый водой или заполненный порошком, должно осуществляться только мастером-взрывником после окончания всех операций по заряджанию шпуров, т.е. перед началом монтажа взрывной сети.

Допускается нахождение заряда в сосуде с водой не более 30 мин. В случае, когда не представляется возможность выполнить это требование, должны быть приняты меры по предотвращению проникновения воды в заряд ВВ.

Сосуды (пакеты) следует подвешивать к шахтной крепи средствами, исключающими их обрыв, например, с помощью шпагата (взрывного магистрального провода) или специальными крючьями. Разрешается подвеска пустых сосудов с последующей заливкой воды через прорезанные в их верхних частях отверстия. Разрешается пакеты с порошковым ингибитором закреплять на деревянных стержнях, вставленных в шпур (подбурки).

Полиэтиленовые сосуды с водой и пакеты с порошком запрещается укладывать на рельсах, рештках, конвейере и т.д.

Электродетонаторы шпуровых и распыляющих зарядов ВВ соединяются в общую взрывную цепь последовательно и взрываются от одного электрического импульса (одного взрывного прибора).

10.5 Испытание предохранительных завес в опытном штреке

Предохранительные завесы при изменении средств для ее создания испытывают в опытном штреке (рис. 10.5).

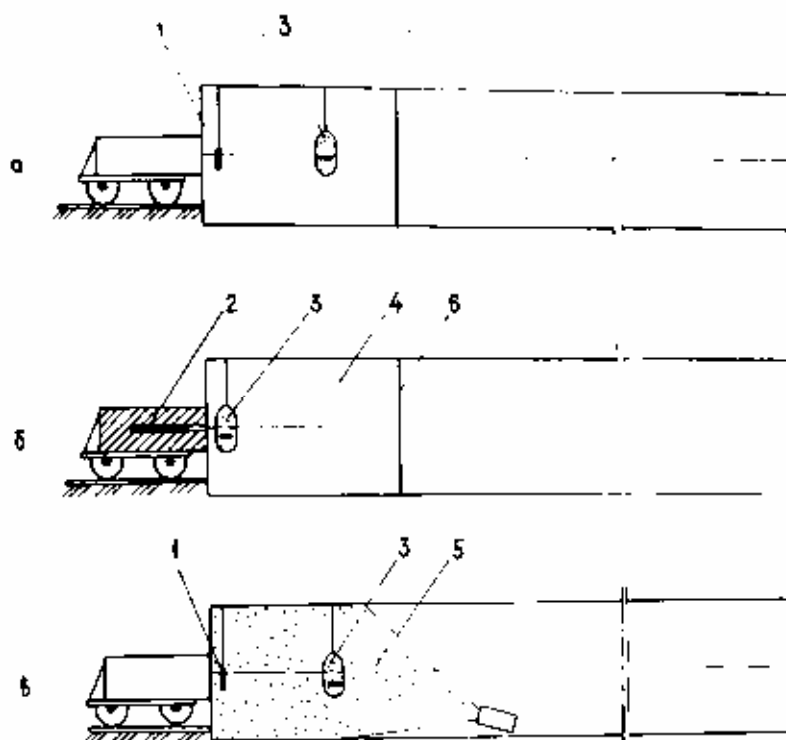


Рис. 10.5. Схеми іспиту запобіжних завіс в дослідному штреку:

а, б - в метаноповітряної суміші; в - в пилоповітряної суміші;

1 - відкритий займистий заряд ВР; 2 - займистий заряд ВР у каналі мортирі; 3 - посуд (пакет) для утворення запобіжної завіси; 4 - метаноповітряна суміш; 5 - пилоповітряна суміш; 6 - діафрагма.

Задачами испытания являются:

- проверка способности завесы флегматизировать метановоздушную и пылевоздушную смесь;
- проверка времени эффективного действия;
- проверка локализирующей способности завесы.

Испытаниями доказано, что применяемые в настоящее время взрывопредотвращающие устройства (полиэтиленовый сосуд с размещенным в нем флегматизатором и распыляющим зарядом) (см. рис. 7.1) уже через 15 мс после срабатывания обеспечивают создание предохранительной аэрозольной завесы с временем действия не менее 2 с и водораспылительной с временем действия до 1 с.

Чтобы подтвердить важность требований о необходимости центровки заряда ВВ в порошковом ингибиторе, было проведено испытание взрывопредотвращающего устройства, в котором распыляющий заряд контактировал с ингибитором только половиной своей боковой поверхности. Установлено, что с помощью такого устройства невозможно создать предохранительную порошковую завесу - при упреждении распыления равном 15 мс метановоздушная смесь воспламенилась. Причем, наиболее сильное возгорание (полиэтиленовый сосуд полностью оплавлялся) получено в тех условиях, когда распыляющий заряд своей оголенной боковой поверхностью был направлен от забоя (от источника возгорания).

Третьим видом испытаний в метановоздушной смеси являются испытания по проверке завесы на эффективность гашения продуктов взрыва шпурового заряда ВВ, способных "прошить" предохранительную завесу и возгорать размещенную за ней метановоздушную смесь. Взрывопредотвращающее устройство подвешивалось вблизи торцевой стенки (забоя) штрека и снабжалось электродетонатором мгновенного действия (ЭДКЗ-ОП), а в канале mortar размещался заряд аммонита Т-19 массой 0,6 кг, инициируемый электродетонатором короткозамедленного действия ЭДКЗ-1ПМ. "Холостыми" экспериментами было показано, что этот заряд безотказно возгорает смесь (пламя выходит из штрека на длину до 4 м), если он размещается не у дна канала mortar (его длина равна 1050 мм), а вблизи его устья. Это расположение и было принято в "боевых" опытах. После создания во взрывной камере штрека стехиометрической метановоздушной смеси производилось взрывание распыляющего и возгорающего зарядов ВВ. Во всех проведенных экспериментах МВС не возгоралась при нормативных параметрах предохранительной завесы.

По аналогичной схеме проводятся испытания завес по локализации очага возгорания метанопылевоздушных смесей у днища опытного штрека.

Лабораторно-полигонные испытания показали высокую эффективность предохранительных завес, допущенных к применению в угольных шахтах.

Контрольные вопросы и задания

1. Чему равны нормативные удельные расходы воды и порошкового ингибитора на создание предохранительной завесы?
2. По каким параметрам рассчитывают предохранительную завесу?
3. Изложите сущность метода расчета предохранительной завесы при взрывании зарядов на одну открытую поверхность.
4. Изложите сущность метода расчета предохранительной завесы при взрывании зарядов на две открытые поверхности.
5. Назовите область применения предохранительной завесы.
6. В каких условиях предпочтительно применять порошковые завесы?
7. Каковы особенности в организации работ по созданию водораспылительной и аэрозольной порошковой завесы?
8. По каким схемам испытывают предохранительную завесу?
9. Как влияет децентровка распыляющего заряда ВВ во флегматизаторе на взрывозащитную эффективность завесы?

Лекция 11. Длительно действующая предохранительная среда

11.1 Введение

Как отмечалось в предыдущих лекциях, время взрывозащитного действия водораспылительных завес не превышает 1 с, а аэрозольных порошковых 2 с. Этого времени достаточно, чтобы предупредить воспламенение пылегазовоздушных смесей от всех возможных при взрывных работах источников воспламенения, кроме выгорающего заряда ВВ. Как вам известно, время выгорания может длиться до 10...12 мин и более, т.е. на несколько порядков превышает взрывозащитный период кратковременных предохранительных завес.

Поэтому постоянно ведутся поиски эффективных способов и средств создания так называемой длительно действующей предохранительной среды, т.е. среды, способной предотвратить воспламенение метана и угольной пыли от выгорающего заряда ВВ и от невзрывных источников, время начала появления которых невозможно прогнозировать.

11.2 Основные направления в создании длительно действующей предохранительной среды

Наиболее ярким представителем этого вида предохранительной среды является предложенный в 1939 г. А.З. Юровским способ биохимического уничтожения метана с помощью метанопотребляющих бактерий, существование которых открыли Казерер и Зенген еще в 1905-1906 гг. Солидную теоретическую и экспериментальную проработку микробиологический метод снижения концентрации метана в угольном пласте (путем закачки в него под давлением соответствующих растворов) и в шахтных выработках прошел в Московском горном институте под руководством профессора Ксенофонтовой А.И. Однако по ряду причин, в частности, из-за длительности протекания естественного процесса питания бактерий, до настоящего времени этот способ не нашел практического применения.

Целый ряд исследований был направлен на изыскание технической возможности и разработку способа предупреждения взрывов методом снижения концентрации кислорода до 12...13% в рудничной атмосфере (с помощью инертного газа, водяного пара, фреона и т.д.) вплоть до создания безкислородной рудничной атмосферы в заперемыченном участке выработки. Техническая сложность сооружения и эксплуатации шлюзов (перемычек), неудобство работы в скафандрах затрудняет промышленную реализацию этого направления создания длительно действующей предохранительной среды в действующих выработках при взрывных работах. В настоящее время этот способ применяется только при горноспасательных работах по ликвидации аварий, связанных с воспламенением метана и угольной пыли.

Московским горным институтом был разработан и испытан в шахтах способ вытеснения рудничной атмосферы из призабойного участка выработки эластичной (шаропилотной) оболочкой, заполненной инертным газом, преимущественно азотом. В 1980 г. МакНИИ предложил подобную эластичную оболочку с инертным газом размещать в опережающей забой выработки полости. Однако из-за технических сложностей эти способы не реализованы до настоящего времени.

В 70-е годы XX столетия горный инженер В.И. Тарасов предложил создать в угольных шахтах взрывобезопасную атмосферу, состоящую из 21% кислорода и 79% метана. Предполагалось, что метан будет непрерывно выделяться из горного массива, а кислород в шахту будет подаваться по системе трубопроводов с автоматически регулируемым объемом выпуска его в рудничную атмосферу. Однако это предложение при экспертизе на различных уровнях, в т.ч. в МакНИИ, было отвергнуто, из-за технических сложностей поддержания необходимого содержания кислорода (ВПВ метаноокислородных смесей равен 61%) и неясности влияния такой атмосферы на организм человека.

В 1976-1978 гг. МакНИИ совместно с Донецким политехническим институтом был разработан импульсный способ нейтрализации рудничной ат-

мосферы. Сущность способа состоит в том, что образовавшаяся при взрывных работах в призабойном участке выработки пылегазовоздушная смесь с высокой скоростью всасывается в предварительно отвакуумированную емкость, из которой, минуя выработки, может выдаваться на поверхность, например, по дегазационной сети (рис. 11.1).

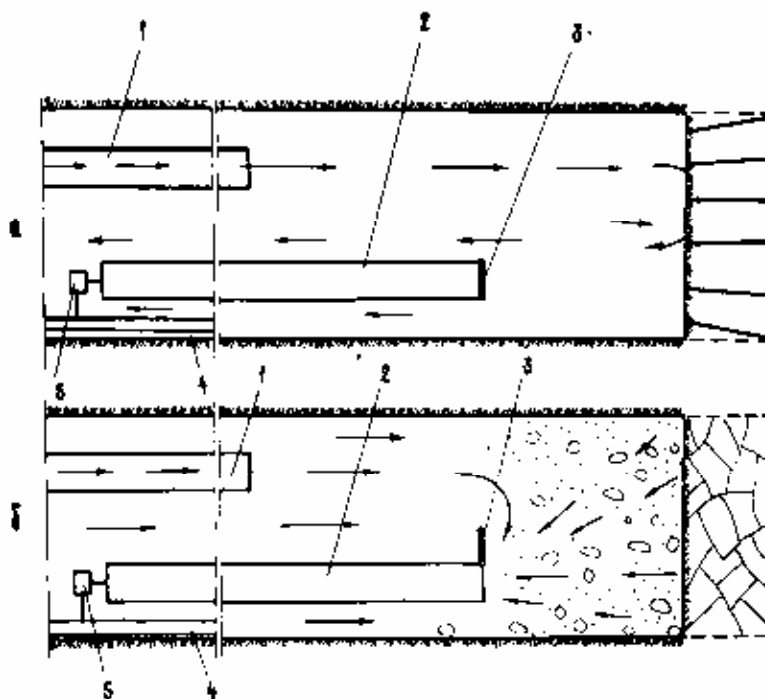


Рис. 11.1. Принципова схема імпульсного способу очистки рудникової атмосфери підчас вибухових робіт (стрілками показаний напрям руху газоповітряної суміші):

а - до вибухових робіт; б - після вибухових робіт;

1 - вентиляційний трубопровід; 2 - всмоктуючий трубопровід; 3 - замикач; 4 - дегазаційний став; 5 - вакуумнасос.

Способ прошел лабораторные и полигонные испытания с положительными результатами. При лабораторных испытаниях пылевоздушная смесь всасывалась в отвакуумированную емкость объемом $0,48 \text{ м}^3$ из модели горной выработки сечением $0,3 \text{ м}^2$. В полигонных условиях задымлялась подземная учебная штольня Моспинского взвода ВГСЧ. Эта атмосфера всасывалась по трубопроводу в отвакуумированную металлическую цистерну объемом 48 м^3 .

Данный способ был положен в основу разработанной, созданной и внедренной системы противовзрывной защиты сушилки фенозана-23 на Ивано-Франковском заводе тонкого органического синтеза (система «РОСА»). Она включает отвакуумированную емкость (размещается под полом цеха), которая трубопроводами соединена со всеми работающими аппаратами. При воспламенении смеси в любом аппарате открывается соответствующий клапан и продукты взрыва всасываются в отвакуумированную емкость, что позволяет избежать разрушения оборудования и более тяжелых последствий.

В горных выработках этот способ не нашел практического применения, в основном, из-за технических трудностей удержания вакуума в подземных

емкостях, а также из-за растянутости во времени процесса выделения метана из отбитой горной массы и с открытых поверхностей после производства взрывных работ.

Все перечисленные направления были доведены до эскизного проекта, но практического применения в угольных шахтах не получили.

Наибольшую техническую проработку и практическое применение при взрывных работах в угольных шахтах получили следующие способы:

- предохранительная среда из высокократной воздушно-механической пены;
- водяные завесы;
- водовоздушные завесы.

На каждый из них был разработан, утвержден и согласован в установленном порядке соответствующий нормативный документ.

Рассмотрим техническую сущность и основные параметры каждого из этих способов.

11.3 Предохранительная среда из высокократной воздушно-механической пены

В 1968-1975 гг. в шахтах всех угольных бассейнов бывшего СССР, особенно в Донецком, Карагандинском и Печорском бассейнах, широко применялась при взрывных работах предохранительная среда из высокократной воздушно-механической пены.

Область, условия и порядок применения пенной предохранительной среды изложены в «Инструкции по применению воздушно-механической пены для создания предохранительной среды при взрывных работах в тупиковых выработках угольных шахт». - Макеевка - Донбасс: Изд. МакНИИ, 1974. - 19 с.

Пена представляет собой ячеистую непрерывную систему, состоящую из пузырьков воздуха, оболочкой которых является водный раствор пенообразователя. Основным показателем водности пены является ее кратность (К) - отношение объема пены к объему исходного водного раствора пенообразователя. Например, в 1 м³ пены кратностью равной 500 содержится 2 л жидкости. Для угольных шахт практическое значение имеет высокократная пена, т.е. кратностью более 300, т.к. такая пена способна заполнять горные выработки на полное поперечное сечение.

Сущность способа состоит в том, что призабойное пространство выработки перед производством взрывных работ дистанционно (с расстояния 100...200 м) заполняется (за 2...5 мин) высокократной воздушно-механической пеной (кратностью 300...500) на протяжении не менее 10 м, считая по верху, при допустимой величине зазора над пенной пробкой не более 0,2 м (рис.11.2). Пена вытесняет рудничную атмосферу, в том числе и взрывчатую среду, и поэтому взрывание шпуровых зарядов производится в инертной среде.

После взрывания шпуровых зарядов пенная пробка разрушается и угольная пыль оказывается смоченной на протяжении примерно 20 м оставшимся слоем (0,1...0,3 м) низкократной пены и выделившимся в

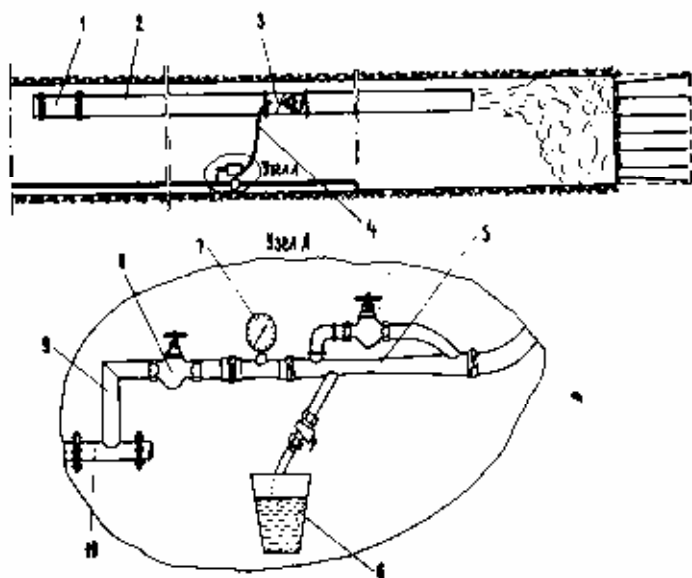


Рис.11.2 Схема утворення довгodiючого запобiжного середовища з високократної повітряно-механічної піни при підривних роботах.

1 - вентилятор місцевого провітрювання; 2 - вентиляційний трубопровод;
3 - піногенератор; 4 - гумовий шланг; 5 - пінозмішувач; 6 - бачок з піноутворювачем; 7 - манометр; 8 - вентиль; 9 - коліно; 10 - водяний трубопровід.

результате разрушення пени пенообразующим раствором. Кроме того, отмечено, что в призабойном пространстве практически не содержится после взрывания с пеной взвешенной пыли - запыленность воздуха уменьшается до 20 раз, а пылеотложение на стенках и крепи выработки - до 100 раз.

Пена может подаваться к забою и в процессе взрывания шпуровых зарядов ВВ, если вероятность выгорания шпурового заряда будет велика.

Воздушно-механическую пену высокой кратности получают путем продавливания воздушным потоком диспергированного пенообразующего раствора через сетки. Устройства для получения пены называются пеногенераторами. Для приготовления пенообразующего раствора служит пеносмесь.

Пеногенератор монтируется в вентиляционный став, идущий к забою выработки от вентилятора местного проветривания, а пеносмесь одним концом подсоединяется к шахтному водопроводу, а другим - к распылителю пеногенератора.

К моменту разработки способа создания предохранительной среды известные пеногенераторы позволяли транспортировать пену по вентиляционному трубопроводу всего на 30...50 м: при большей длине пена разрушалась в трубопроводе и к забою не доходила. В то же время на таком расстоянии пеногенератор оставлять было нельзя - он бы повреждался взорванной горной массой, а также мешал бы выполнению других операций проходческого цикла.

Поэтому в свое время велись усиленные поиски путей увеличения дальности транспортировки пены по трубопроводу. В результате была разработана специальная конструкция пеногенератора ПГЗ-1, позволившая подавать пену по трубопроводу на расстояние до 400 м. Это было достигнуто за счет устройства кольцевого зазора между корпусом пеногенератора и пакетом сеток.

Для искусственного гашения пены (при отказе шпуровых зарядов и в отдельных случаях после взрывания) были подобраны эффективные химические пеногасители и разработаны способы их практического применения в шахтах.

Процесс устойчивого получения высокократной воздушно-механической пены зависит от многих параметров, в т.ч.

- жесткости воды - не более 20 мг - экв/л;
- кислотности воды - $\text{РН} = 6...8$;
- скорости воздушного потока в трубопроводе - $5...12 \text{ м/с}$;
- концентрации пенообразователя в водном растворе (для ПО-1 - $4...5\%$).

Нарушение хотя бы одного параметра приводит к срыву нормального процесса пенообразования и в конечном итоге к некачественному заполнению призабойного пространства пеной - образуются значительные воздушные зазоры между поверхностью пенной пробки и верхом выработки. Опасность такой ситуации была изучена экспериментально путем взрывания по метану и пыли. Из данных экспериментов, проведенных в опытном штреке и в подземной штольне МакНИИ, следует, что при воспламенении метано- или метанопылевоздушной смеси в незаполненном пеной пространстве пламя взрыва может распространяться по зазору высотой более 0,2 м, заполненном такой же смесью. В частности, при величине зазора равном 0,5 м и наличии метана и угольной пыли за пенной пробкой пламя взрыва выходит за пределы пробки, воспламеняет взрывчатую смесь и взрыв распространяется на значительные расстояния.

Из-за сложности контроля за стабильностью параметров пенообразования и полнотой заполнения призабойного пространства выработки пеной этот способ в настоящее время практически не применяется.

11.4 Водяные и водовоздушные завесы

Условия и технология применения определены в «Руководстве по применению водовоздушных завес при взрывных работах в угольных шахтах». – Макеевка – Донбасс: Изд. МакНИИ, 1984. – 24 с.

Их создают путем механического распыления воды с помощью форсунок специальной конструкции, обеспечивающих образование водного аэрозоля с дисперсностью капель $60...80 \text{ мкм}$ и водностью не менее 120 г/м^3 , который исключает воспламенения метана и угольной пыли.

Общеизвестно, что степень диспергирования зависит от диаметра сопла и величины избыточного давления воды. Так, например, средний радиус капель в завесе при подаче воды к форсункам с диаметром выходного отвер-

ствия 1 мм под давлением 1,0...2,5 МПа изменяется в пределах 51...39 мкм. Это аналогично диаметру выходного отверстия равному 2,1...2,5 мм и давлению воды равному примерно 4,0 МПа. Повышение давления от 0,5 до 5,5 МПа приводит к увеличению производительности (а следовательно, водности) в 3,5 раза; при изменении диаметра сопла от 1 мм до 2,9 мм производительность возрастает более чем в 5 раз.

Это означает, что предотвратить воспламенение метановоздушной смеси способа не любая, а только специальная водяная завеса с вполне определенными параметрами. Поэтому необходимо особенно подчеркнуть, что все изготавливаемые на шахтах самодельные конструкции устройств для создания водяной и водо-воздушной завесы не способны предотвратить воспламенение метановоздушной смеси, т.е. ее зафлегматизировать, в первую очередь, из-за высокой дисперсности образующихся водяных капель, низкой водности завесы и неравномерного распределения в ней капель. Такие самодельные завесы ни в коем случае не могут заменить ни водораспылительные и аэрозольные порошковые завесы, ни водяные и водовоздушные завесы специальной конструкции, которые будут рассмотрены в данной лекции. В лучшем случае они способствуют пылеподавлению.

Завесы, образуемые путем механического распыления воды только за счет давления воды, называются водяными (водяными форсуночными), а за счет давления воды и сжатого воздуха – водовоздушными завесами.

Водяные и водовоздушные завесы следует применять в выработках, в призабойном пространстве которых имеется действующий противопожарно-оросительный водопровод, а в случае водовоздушных и пневмоэнергия (сжатый воздух). Взрывозащита при этом должна обеспечиваться устройствами, на которые имеются стандарты или технические условия и эти устройства допущены Госнадзорохрантруда Украины для этих целей, например, генератор водяных аэрозолей ГПВ.

Применение водяных и водовоздушных завес осуществляется в соответствии с требованиями и рекомендациями, изложенными в руководстве по эксплуатации или паспорте устройства, предназначенного для создания завесы, прилагаемого заводом-изготовителем к указанному устройству.

Во второй половине XX века МакНИИ было разработано и испытано 6 промышленных установок по созданию водяной и водовоздушной предохранительных завес длительного действия. В данной лекции вкратце познакомимся с тремя принципиально отличными друг от друга конструкциями.

11.4.1 Водяные форсуночные завесы

Первая работа по установлению возможности и условий применения водяных форсуночных завес была проведена в МакНИИ в 1958-1960 гг.

В 70-х годах была разработана первая промышленная установка для создания высоконапорных водяных форсуночных завес на основе распылителей РЗ-7, содержащих 7 зонтичных форсунок в одном корпусе. Эти распылители располагаются под определенными углами на трубчатом коллекторе,

имеющем дугообразную или прямолинейную форму с внутренним диаметром не менее 50 мм.

Метод расчета их конструкции изложен в методическом указании «Устройство и эксплуатация распылительной установки для создания форсуночной водяной завесы длительного действия». – Макеевка-Донбасс: Изд. МакНИИ, 1970.

Техническая характеристика распылителя РЗ - 7

Рабочее давление воды, МПа	-	не менее 1,0
Расход воды, л/с	-	0,25...0,28
Диаметр выходных отверстий, мм	-	2,0...3,0
Эффективная длина факела, м	-	3,5
Диаметр факела, м	-	1,5
Площадь факела, м ²	-	1,77
Число распылителей на забой, шт	-	(0,8...1,0) $S_{вч}$

Однако эти высоконапорные водяные завесы не нашли широкого применения в шахтах в виду того, что распылители эффективно работают только при высоком давлении воды, требуют тщательную ее очистку от механических примесей и имеют ограниченную дальность.

11.4.2 Водоежекторная установка

В начале 80-х годов была разработана водоежекторная установка ВЭУ-600, с помощью которой создается водовоздушная завеса путем распыления воды не только за счет подачи ее под давлением, но и потоком сжатого воздуха через пневматические эжекторы (рис.11.4).

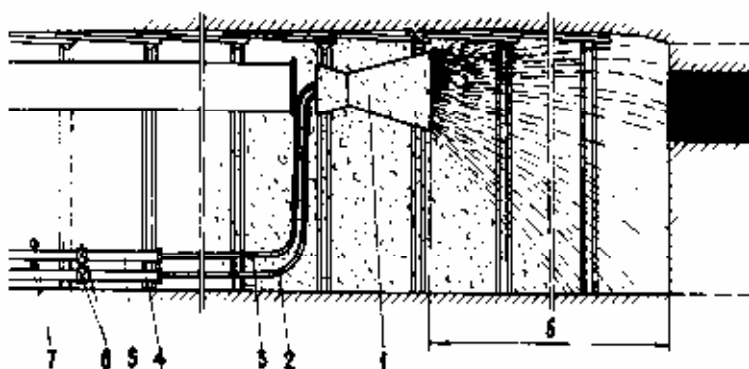


Рис. 11.4. Водоежекторная установка ВЭУ-600:

1 - эжектор; 2,3,4,5 - трубы та шланги для подачи воды і стисненого повітря;
6 - запорна арматура; 7 - манометри.

Это позволило увеличить эффективную дальность распыления до 8...12 м при площади факела равной примерно 12 м², а также диаметр выходных отверстий до 10...14 мм и тем самым снять проблему дополнительной тщательной очистки воды.

Техническая характеристика водоэжекторной установки ВЭУ-600

Площадь факела, м ²	—	12,0
Расход воды, л/с	—	2,5
Диаметр выходных отверстий, мм	—	10...14
Давление воды, МПа	—	не менее 0,3
Эффективная длина факела, м	—	8...12

Установка ВЭУ-600 нашла применение при передовом торпедировании в угольных шахтах.

Однако из-за необходимости значительных расходов воды, сложности контроля за стабильностью параметров эффективности, а также из-за технических трудностей, возникающих в процессе изготовления распылителя (улитки), это средство создания длительно действующей предохранительной среды также не получило широкого применения в шахтах.

11.4.3 Тонкодисперсные водяные аэрозоли

В 1993-1995 гг. МакНИИ сделан шестой заход по созданию длительно действующей водяной завесы: был разработан, изготовлен и внедрен в шахтах генератор тонкодисперсных водяных аэрозолей ГПВ (гидропневматический взрывозащитный).

Область и условия применения генераторов ГПВ изложены в «Дополнениях и изменениях к упомянутому «Руководству...»». (Макеевка-Донбасс: Изд. МакНИИ, 1994. – 10 с.), а также в «Сборнике нормативных документов по взрывным работам в угольных шахтах» (Макеевка-Донбасс: Изд. МакНИИ, 2000. – 240 с.)

Генератор состоит из гидропневматических распылителей, собранных в один блок с помощью стандартных сантехнических соединений и резиноканевых шлангов (рис.11.5).

Распылитель, входящий в генератор тонкодисперсных водяных аэрозолей, состоит из коаксиально расположенных воздушного и водяного сопел, перед которыми жестко закрепляется распылительный конус с углом конусности не более 60° и диаметром основания не более 70 мм.

Генератор ГПВ изготавливают в четырех модификациях (ГПВ-00; ГПВ-01; ГПВ-02 и ГПВ-03), предназначенных для применения в горных выработках различного поперечного сечения и отличающихся друг от друга количеством гидропневматических распылителей, смонтированных в блоке генератора.

Техническая характеристика генератора ГПВ с тремя распылителями (ГПВ-01)

Диаметр выходного отверстия водяного сопла, мм	-	5
Давление сжатого воздуха, МПа	-	0,3...0,6

Давление воды, МПа	- 0,5...1,5
Расход сжатого воздуха, м ³ /с	- 0,12...0,24
Расход воды, л/с	- 1,5...2,4
Площадь факела на расстоянии 8 м от генератора, м ²	- 15,0...20,0
Эффективная длина завесы, м	- 9,0

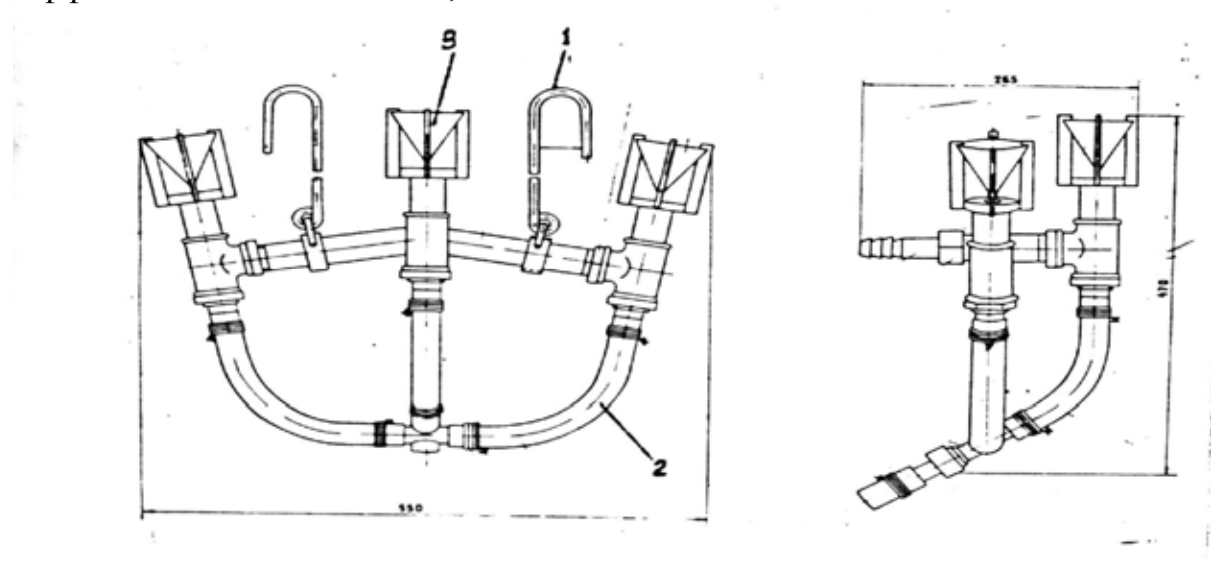


Рис.11.5 Генератор водяного аэрозоля ГПВ

1 – крюк подвески; 2 – шланг; 3 – гидropневматический распылитель

Технологическая схема применения генератора ГПВ в горной выработке показана на рис. 11.6.

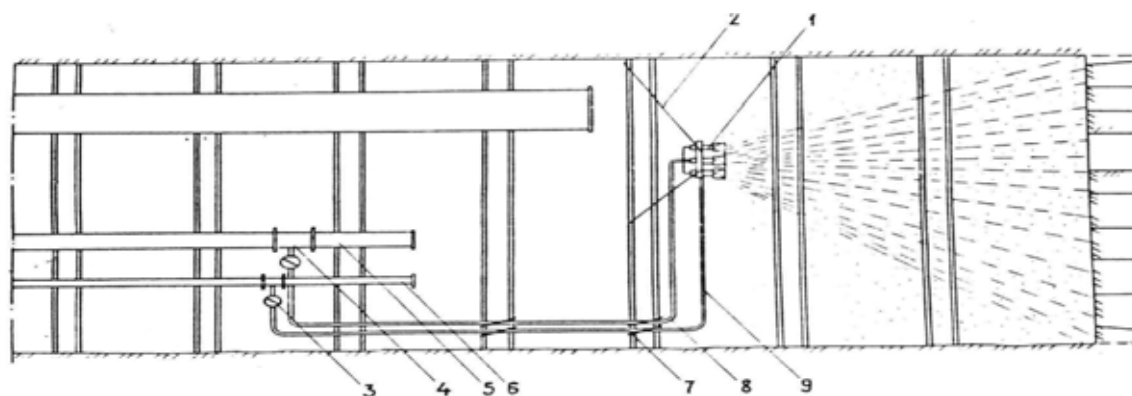


Рис.11.6 Технологическая схема применения генератора ГПВ в горной выработке

1 – генератор ГПВ; 2 – устройство подвески; 3 – вентиль;
4 – тройник; 5 – противопожарно-оросительный трубопровод;
6 – пневмопровод; 7 – подвязка генератора к шахтной крепи;
8 – шланг для подачи воды; 9 – шланг для подачи сжатого воздуха

Время непрерывной работы генератора (оно указывается в паспорте БВР) должно быть не менее 10 мин. Причем включение генератора в работу производится не позже, чем за 2...3 мин до взрывания шпуровых зарядов.

Генератор ГПВ должен располагаться впереди вентиляционного трубопровода или сбоку от него таким образом, чтобы факел водяной завесы подавался к забою выработки вместе со струей свежего воздуха. При этом расстояние от генератора до забоя должно составлять не более 9 м.

Правильность расположения генератора в забое выработки определяется кратковременным включением его в работу. При этом водовоздушная завеса должна достигать забоя и перекрывать поперечное сечение выработки.

Крепление генератора в горной выработке осуществляется к шахтной крепи со стороны подвески вентиляционной трубы.

Размер генератора без средств крепления составляет: длина 0,3 м, ширина - 0,40...0,75 м и высота - 0,2...0,3 м.

Переноска генератора осуществляется после каждого цикла взрывания, если глубина заходки превышает 2 м, и через один цикл, если глубина заходки 2 м и менее.

Пуск генератора в работу осуществляется открыванием запорных вентилей на водопроводе и магистрали сжатого воздуха.

11.5 Заключение

Основными трудностями при создании и практическом применении водяных и водовоздушных завес являются:

- необходимость тщательной защиты устройств и подводящих шлангов от повреждений потоком взорванной горной массы;
- необходимость постоянной переноски устройств и закрепления их строго под определенными углами;
- при работе устройств 10 мин. и более возможно подтопление выработки водой (за 10 мин. будет распылено в рудничной атмосфере более 1 м³ воды);
- применение громоздкой и сложной распылительной установки требует значительных затрат на ее изготовление и обслуживание;
- трудность контроля степени диспергирования воды и водности завесы при работе в горных выработках, что значительно снижает взрывозащитную надежность водяных и водовоздушных завес.

Контрольные вопросы и задания

1. Что такое длительно действующая предохранительная среда?
2. Какие существуют способы создания длительно действующей предохранительной среды?
3. Изложите сущность способа создания предохранительной среды из воздушно-механической пены.
4. Чем отличаются водяная завеса от водовоздушной?

5. Дайте общую характеристику и назовите основные недостатки установки для создания водяной завесы с помощью распылителя РЗ-7.
6. Что такое водозжекторная установка ВЭУ-600?
7. Назовите конструктивные особенности генератора токодисперсных водяных аэрозолей ГПВ.
8. Перечислите трудности создания и эксплуатации длительно действующей предохранительной среды.

ТЕМА 4 ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ ВОСПЛАМЕНЕНИЙ МЕТАНА И УГОЛЬНОЙ ПЫЛИ ПО СЕТИ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

Эта задача решается путем превращения отложившейся на стенках горных выработок угольной пыли в невзрывчатую систему, ликвидации слоевых и местных скоплений метана, применением взрывозащищенного горно-шахтного оборудования, постоянного контроля, содержания (концентрации) метана и ряда других мероприятий.

В данной теме будет рассмотрено первое из перечисленных мероприятий. Остальные профилактические направления являются неотъемлемой операцией технологических процессов и поэтому будут рассматриваться при изучении соответствующих специальных дисциплин.

Лекция 12. Предупреждение взрывов отложившейся угольной пыли

12.1 Общие положения

Источниками пылеобразования в угольных шахтах являются бурение шпуров, взрывные работы, комбайновая проходка горных выработок и выемка угля, погрузка и разгрузка породы и угля и др.

От источников пылеобразования угольная пыль вентиляционной струей переносится на значительные расстояния. Оседая по пути движения воздушной струи, пыль образует на боках и почве выработок отложения.

Под пылеотложением понимают процесс накопления угольной пыли в горных выработках.

Опасность накопления в выработках пылевых отложений заключается в том, что при возникновении даже локального очага воспламенения метана пыль переходит во взвешенное состояние и может развиться пылевоздушный взрыв с распространением по всей сети горных выработок.

Комплекс пылевзрывозащитных мероприятий, проводимых в угольных шахтах, направлен, в первую очередь, на создание и поддержание в выработках таких условий, при которых возможность взрыва угольной пыли исключается. Он включает:

- мероприятия, предупреждающие пылеобразование и распространение пыли по сети горных выработок;
- мероприятия по предупреждению взрывов отложившейся на кровле, боках и почве выработок угольной пыли.

В первую очередь осуществляются мероприятия, предупреждающие пылеобразование и распространение пыли по сети горных выработок. Возможные меры уменьшения образования пыли в угольных шахтах многообразны. Это применение новых систем добычи угля и новых технологических

процессов, вызывающих меньшее пылеобразование, разработка конструкций нового инструментария и механического оборудования, построенного на принципе меньшего пылеобразования и др. Все эти направления будут рассмотрены при изучении специальных дисциплин.

Однако в условиях интенсификации угледобычи пылеобразование увеличивается, увеличивается и пылеотложение в горных выработках. Взрывоопасное количество пыли вблизи источников пылеобразования может накапливаться за сутки, смену и менее. Поэтому для взрывозащиты шахт, разрабатывающих пласты, опасные по взрыву пыли, наряду с комплексным обеспыливанием рудничного воздуха, осуществляются мероприятия по предупреждению взрывов отложившейся пыли.

Мероприятия по предупреждению взрывов пыли основаны на применении:

- инертной пыли (сланцевая пылевзрывозащита)
- воды или водных растворов ПАВ (гидропылевзрывозащита);
- воды и инертной пыли (комбинированная взрывозащита).

При первом мероприятии для предупреждения взрывов осевшей пыли производится осланцевание горных выработок.

При втором мероприятии (гидрообеспыливании) применяются следующие способы предупреждения взрывов отложившейся пыли:

- орошение пыли водой и водными растворами ПАВ;
- уборка пыли;
- связывание пыли;
- увлажнение угля в массиве.

Мероприятия по предупреждению взрывов угольной пыли выполняются в соответствии с «Инструкцией по предупреждению и локализации взрывов угольной пыли» («Збірник інструкцій до правіл безпеки у вугільних шахтах», Т1. – К.: Основа, 1996. – С. 364-373), а также «Едиными правилами безопасности при взрывных работах».

Рассмотрим техническую сущность и область применения упомянутых пылевзрывозащитных мероприятий.

12.2. Осланцевание горных выработок.

До середины 60-х годов XX столетия для предупреждения взрывов угольной пыли повсеместно применялось осланцевание горных выработок.

Сущность осланцевания заключается в искусственном озолении угольной пыли, осевшей на поверхности горных выработок, путем добавления к ней негорючей (инертной) пыли в таком количестве, чтобы угольная пыль потеряла способность взрываться.

При осланцевании бока, кровля и почва выработки должны быть покрыты сплошным слоем инертной пыли.

При переходе во взвешенное состояние осланцованных пылевых отложений угольная пыль теряет способность к воспламенению в присутствии

теплового источника вследствие поглощения выделяющейся тепловой энергии инертной пылью.

Впервые этот способ был предложен в 1891 г., а в 1919-1926 гг. введен в законодательном порядке в большинстве угледобывающих стран, в том числе и в нашей стране. До конца 50-х годов инертную пыль изготавливали из глинистого сланца, в связи с чем этот способ предупреждения взрывов угольной пыли получил наименование осланцевания. Наиболее распространенным материалом для изготовления инертной пыли в настоящее время является известняк.

Потребный расход инертной пыли на осланцевание определяется расчетным путем исходя из НПВ угольной пыли и нормы осланцевания, установленных для каждого шахтопласта.

Нормой осланцевания (N) называется наименьшее количество инертной пыли (в процентах), при котором беззольная угольная пыль в смеси с инертной пылью не взрывается.

При этом чем более взрывчатой является угольная пыль, тем выше для нее норма осланцевания.

$$N = D_{\phi} + \Delta D_{\phi}, \%, \quad (12.1)$$

где D_{ϕ} - флегматизирующая добавка;

ΔD_{ϕ} - надбавка инертной пыли (флегматизатора), численно равная процентному содержанию негорючих веществ в угле.

В отличие от параметра D_{ϕ} параметр N устанавливается для беззольного угля. Это означает, что при расчете нормы осланцевания пренебрегают из условия запаса по безопасности флегматизирующим действием негорючих веществ, содержащихся в угле, т.е. естественной зольностью угольного пласта.

Очевидно, в невзрывчатой системе "угольная пыль + флегматизатор" доля угольной пыли с естественной ее зольностью равна:

$$\frac{100 - D_{\phi}}{100}$$

Тогда исходя из физического смысла параметра ΔD_{ϕ} получим

$$\Delta D_{\phi} = A_{\phi}^s \cdot \frac{100 - D_{\phi}}{100}, \%, \quad (12.2)$$

где A_{ϕ}^s - содержание негорючих веществ в угле (зольность угля), %

С учетом (12.2) формула (12.1) примет вид:

$$N = \frac{A_{\phi}^s (100 - D_{\phi})}{100} + D_{\phi}, \% \quad (12.3)$$

В нашей стране накоплен большой статистический материал по взрывчатым свойствам угольной пыли и нормам осланцевания различных шахтопластов.

Данные свидетельствуют, в частности, о том, что для углей с выходом летучих веществ менее 15% естественная зольность существенно влияет на взрывчатые свойства угольной пыли. При дальнейшем же увеличении выхода летучих веществ рост нормы осланцевания становится более плавным, приближаясь к постоянной величине. Взрывчатость угольной пыли с выходом летучих веществ более 30% остается практически постоянной, не зависящей от зольности угля.

В мировой практике неоднократно пытались разработать аналитический метод определения норм осланцевания, но пока безуспешно. Поэтому, согласно действующим нормативным документам, при расчете нормы осланцевания для углей с выходом летучих веществ менее 15% и для углей пластов, вновь вводимых в эксплуатацию, добавка Дф принимается по данным лабораторных испытаний МакНИИ (ВостНИИ).

Вместе с тем, проведение контрольных испытаний связано со значительными затратами средств и времени. Кроме того, ввиду изменения физико-химических свойств угля в пределах шахтного поля установление норм осланцевания один раз в 1...3 года не позволяет оперативно производить их корректировку по мере необходимости.

Поэтому для углей с выходом летучих веществ 15 % и более добавку Дф определяют по специальной номограмме, построенной по эмпирической формуле, установленной на основании экспериментальных данных, полученных для углей с выходом летучих веществ менее 15 %.

Кроме того, для пластов с выходом летучих 15% и более составлен "Каталог шахтопластов по взрывчатым свойствам угольной пыли" (М.: Недра, 1973). В каталоге приведены величины добавок инертной пыли (Дф) и нормы осланцевания (N) для каждого шахтопласта, а также дана методика корректировки норм.

Расчетную формулу для определения расхода инертной пыли (или другого флегматизатора) на осланцевание одного погонного метра выработки (q) нетрудно установить исходя из определения параметра "D_ф", т.е. исходя из формулы (7.1), а именно:

$$N = \frac{q}{q + m_{yp}} \cdot 100, \%,$$

где m_{yp} - масса угольной пыли в пылевоздушном облаке протяженностью равной один метр при нижнем концентрационном пределе ее взрываемости (после перехода отложившейся пыли во взвешенное состояние), кг/м.

Откуда

$$q = \frac{N \cdot m_{\text{уп}}}{100 - N}, \text{ кг/м}$$

Очевидно

$$m_{\text{уп}} = \delta_{\text{отл.}} \cdot S \cdot 0,001, \text{ кг/м},$$

где $\delta_{\text{отл.}}$ - нижний концентрационный предел взрываемости угольной пыли, г/м³;

S - сечение выработки, м²

Тогда

$$q = \frac{0,001 \cdot \delta_{\text{отл.}} \cdot S \cdot N}{100 - N} \text{ -- , кг/м.} \quad (12.4)$$

Значение $\delta_{\text{отл.}}$ рассчитывается по эмпирической формуле (3.2) или определяется по специальной номограмме, приведенной в упомянутой «Инструкции...».

Задача 12.1

Определить норму осланцевания для пласта К8 (шахта № 1 "Новогродовская"), для которого $V_{\text{сф}}^{\text{daf}} = 42\%$, $A_{\text{ф}}^{\text{S}} = 13,8\%$ (по данным ОТК), при использовании в качестве флегматизатора инертной пыли.

Решение.

Из номограммы по значениям $A_{\text{ф}}^{\text{S}}$ и $V_{\text{сф}}^{\text{daf}}$ находим $\text{Дф} = 85,3\%$.

Тогда

$$N = \frac{13,8 \cdot (100 - 85,3)}{100} + 85,3 = 87,6 \%$$

Задача 12.2

Дано: $\delta_{\text{отл.}} = 40 \text{ г/м}^3$; $N = 80\%$; $S = 10 \text{ м}^2$

Определить q

Решение

$$q = \frac{0,001 \cdot N \cdot \delta_{\text{отл.}} \cdot S}{100 - N} =$$

$$= \frac{0,001 \cdot 80 \cdot 40 \cdot 10}{100 - 80} = 1,6 \text{ кг/м}$$

Несомненным достоинством осланцевания перед мокрыми способами является то, что однажды внесенная в угольную пыль инертная пыль навсегда смешивается с ней, повышая естественную зольность угля и снижая тем самым ее взрывчатость.

Применение осланцевания позволяет осуществлять оперативный визуальный контроль состояния выработок. Наконец, по результатам лабораторных определений количества негорючих веществ в отобранных пробах пыли можно объективно судить о пылевзрывобезопасности выработки.

Однако в условиях интенсивного пылеобразования осланцевание оказалось неэффективным. При осланцевании горных выработок осевшая угольная пыль покрывается слоем инертной. Затем поверх инертной начинает накапливаться угольная, образующаяся в процессе угледобычи. Причем, осаждение угольной и инертной пыли на кровлю, бока и почву выработки происходит неравномерно.

Опытами по исследованию эффективности осланцевания, выполненными в опытной шахте МакНИИ, установлено, что в случае размещения инертной пыли поверх угольной (что характерно для условий, которые имеют место в шахте сразу после осланцевания горной выработки), опасность распространения взрыва угольной пыли устраняется при содержании 77% инертной (в качестве источника воспламенения применялся взрыв 25 м³ МВС, дающий распространение пламени по штольне на расстояние 20 м от взрывной камеры). В то же время при расположении угольной пыли поверх инертной, т.е. в шахтах спустя некоторое время после осланцевания, эффективность действия инертной пыли снижается независимо от ее количества и тем значительно, чем больше угольной пыли откладывается поверх инертной. Например, в опытах, когда поверх инертной пыли накопилась угольная пыль из расчета 200 г/м³ выработки, опасность распространения взрыва устранялась в случае содержания 87% инертной пыли, а при наслоении 350 г/м³ угольной пыли даже 87,5% инертной (около 2,5 кг/м³) не предупреждало опасность распространения взрыва.

Не оправдывает своего назначения осланцевание как мероприятие по предупреждению взрывов угольной пыли в конвейерных выработках – отложившуюся угольную пыль под конвейером и на элементах его конструкции, а также пыль, находящуюся в просыпавшемся и транспортируемом угле, осланцевать практически невозможно. Положение усугубляется еще тем, что на

современных шахтах в большинстве случаев конвейерные выработки примыкают к очистным и подготовительным выработкам. В результате этого в конвейерных выработках возможно скопление, кроме угольной пыли, взрывоопасных концентраций метана. Поэтому даже в хорошо осланцованных конвейерных выработках возможно распространение взрыва на значительные расстояния.

Кроме того, осланцевание горных выработок сопровождается загрязнением шахтной атмосферы взвешенной инертной пылью и большими ее непроизводительными потерями в результате уноса взвешенной пыли воздушной струей.

Наконец, применение инертной пыли несовместимо с гидрообеспыливанием воздуха и способствует росту заболеваемости рабочих пневмокониозом.

К тому же осланцевание дорогостоящее и антисанитарное мероприятие.

Исходя из этого осланцевание целесообразно применять в сухих (необводненных и без капежа) выработках, в том числе с пучащими, легкоразмываемыми породами, а также в выработках с отрицательной температурой воздуха и боковых пород независимо от интенсивности пылеотложения.

При этом погрузочные пункты лав должны осланцовываться не реже одного раза в смену, а подготовительные выработки - не реже одного раза в сутки, причем на протяжении 50 м от забоя.

В течение этого периода успевает накопиться такое количество отложившейся угольной пыли, которое после перехода во взвешенное состояние образует пылевоздушную смесь с содержанием в ней пыли на уровне НКВ.

В остальных условиях рекомендуется применять гидрообеспыливание и, в первую очередь, орошение.

12.3. Орошение угольной пыли

Хронологически первым мероприятием по предупреждению взрывов угольной пыли было орошение ее водой, повсеместно применявшееся в угольных шахтах в нашей стране и в Германии до 1926 г., в США - до 1927 г. и в Англии - до 1921 г.

Сущность способа заключается в нейтрализации осевшей пыли путем ее смачивания до влажности, при которой пыль не может быть приведена во взвешенное состояние и взорваться.

К тому же при орошении накапливающаяся поверх увлажненной пыли "свежая" угольная пыль также увлажняется в процессе испарения влаги и поэтому в течение определенного времени (большого, чем при осланцевании) выработка поддерживается в пылевзрывозащищенном состоянии.

Предельно допустимая влажность пыли определена опытным путем. Для пыли, отложившейся на кровле и боках выработки, она должна быть не менее 17%, а на почве - не менее 12%. При массовой доле влаги в пределах 1...2% взрывчатость угольной пыли практически не изменяется.

Практика показала, что способ не обеспечивает надежной защиты от взрывов угольной пыли, так как при орошении не удастся поддержать достаточную влажность угольной пыли в течение длительного времени вследствие быстрого высыхания пыли. По мере испарения влаги надежность связывания угольной пыли уменьшается и в конечном счете (как правило, через 6...10 ч) взрывчатые свойства пыли приближаются к естественным, характерным для ее дисперсности и состава, и пыль приобретает способность переходить во взвешенное состояние.

Кроме того, отмечается недостаточная смачиваемость угольной пыли при орошении чистой водой. Ведь для смачивания угольной пыли каплями воды скорость водяной струи должна быть не менее 5 м/с, что достигается при давлении воды перед оросителем равном не менее 0,3 МПа. Учитывая, что в тупиковых выработках такого давления практически нет (скорость струи находится в пределах 2...3 м/с) при орошении рекомендуется в воду добавлять смачиватель ДБ.

По перечисленным причинам орошение не получило широкого распространения в угольных шахтах.

Однако, способ орошения осевшей пыли водными растворами смачивателя ДБ (0,1...0,2%-ными) благодаря своей простоте получил повсеместное применение при взрывных работах в тупиковых горных выработках. При орошении отложившаяся в выработке пыль должна быть превращена в шлам (грязь) на протяжении 20 м от забоя, что является гарантией безопасности. Орошение производится за 20...30 мин. до взрывных работ. В угольных забоях орошение необходимо выполнять перед каждым приемом взрывания, а при взрывании по породе - один раз за два приема. Визуальный контроль за состоянием отложившейся угольной пыли должен осуществляться перед каждым приемом взрывания.

Для диспергирования раствора в забоях подготовительных выработок при ведении взрывных работ наиболее целесообразно применять ручной ороситель РО-1 с внутренней дозировкой ДБ. Цилиндр оросителя вместимостью 0,55 л соединен со стволом щелевым отверстием 6×28 мм, перекрываемым пробковым краном. Для заливки цилиндра используется 40%-ный раствор смачивателя ДБ. При открытом положении пробкового крана вода, проходя по стволу, вымывает смачиватель, образуя на выходе из форсунки раствор, который в начальный момент орошения содержит 0,2%, а в конечный - 0,05% смачивателя.

Для дозировки смачивателя при орошении может применяться также дозатор ДСУ-3 или ДСУ-4. При этом для подачи и диспергирования жидкости используют форсунки типа ТФ или КФ.

Вторая область применения орошения - это проходческие и выемочные комбайны (подробно будет рассмотрено в 16.3).

Третья область применения орошения - это обыспыливание перегрузочного пункта ленточного конвейера (рис. 12.1), передвижного погрузочно-го пункта (рис. 12.2) и других аналогичных мест пылеобразования.

На участках вентиляционных выработок длиной до 200 м, примыкающим к лавам, с высокой интенсивностью пылеотложения, когда взрывоопасное состояние в выработке может наступить в течение суток, смены и даже нескольких минут, рекомендуется применять орошение в виде рассредоточенных непрерывно действующих туманообразующих завес (рис. 12.3). Туманообразующая завеса должна работать в течение всего времени выемки угля и отключаться только в ремонтно-подготовительные смены или в промежутки между сменами.

В последнее время на угольных шахтах Крайнего Севера, Сибири и Дальнего Востока все шире начинает применяться разработанный ВостНИИ способ оснегования поверхности выработок. Снег используется в качестве флегматизирующей добавки, обеспечивающей смешивание угольной пыли со снегом в пропорции, при которой полученная смесь не распространяет взрыва. Расход снега составляет не менее 50% по массе к количеству отложившейся пыли в выработках (плотность снега равна примерно 300 кг/м^3). Периодичность оснегования такая же, как и при осланцевании.

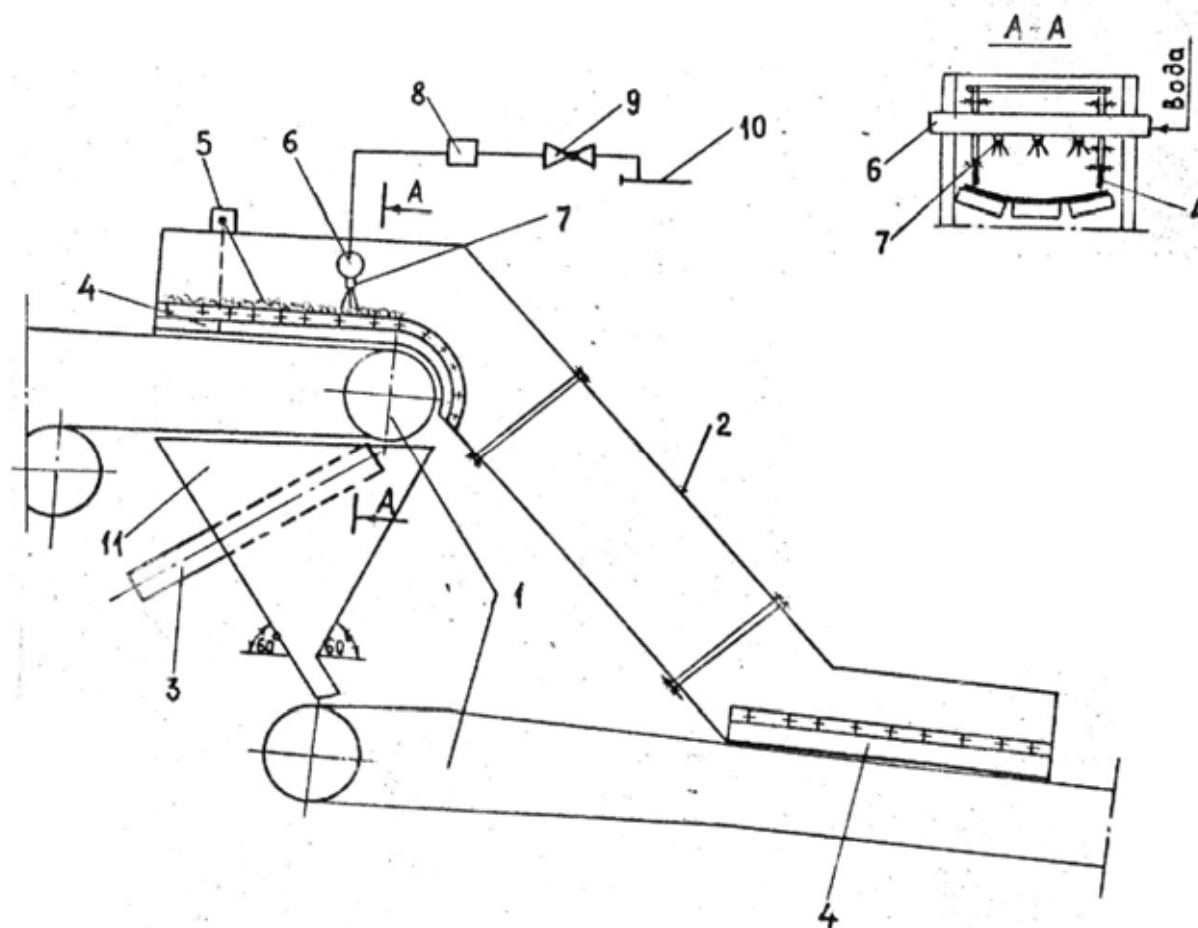


Рис. 12.1. Схема обеспыливания перегрузочного пункта ленточного конвейера.

1-конвейер; 2-желоб; 3-очиститель ленты; 4-резиновая полоса; 5-датчик наличия материала; 6-коллектор для форсунок; 7-форсунки; 8-устройство автоматизации орошения; 9-кран; 10-пожарно-оросительный трубопровод; 11-желоб для угля от очистки ленты.

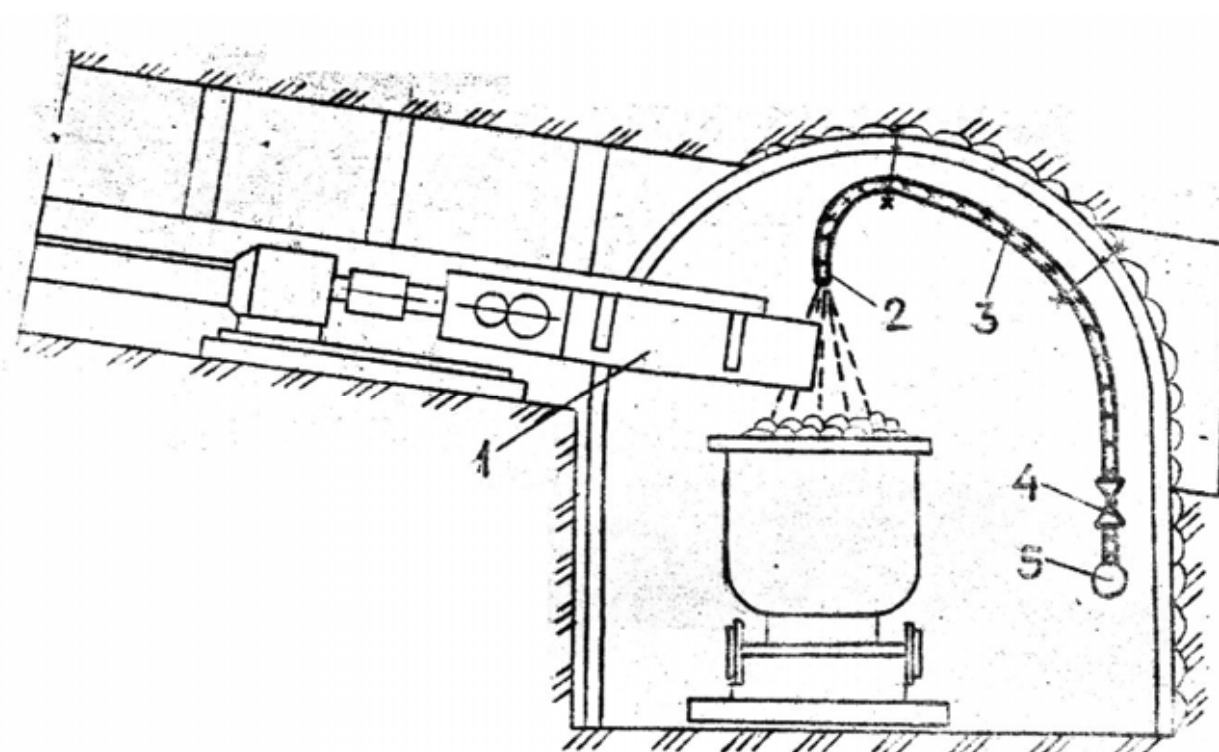


Рис. 12.2. Схема орошения на передвижном погрузочном пункте
1- конвейер; 2- форсунка; 3- рукав напорный; 4-кран;
5- пожарно-оросительный трубопровод.

12.4.Уборка пыли

Известны мокрый и сухой способы уборки пыли.

Наиболее распространенной является мокрая уборка угольной пыли (обмывка), которая осуществляется периодическим смывом ее водой или 0,1%-ным раствором смачивателя ДБ с боков и кровли выработки.

Смоченная пыль транспортируется по канавке потоком воды (раствора) в водосборники, а пыль, оставшаяся на почве в состоянии шлама, невзрывоопасна (ее влажность равна 12% и выше).

По мере накопления влаги пыль с почвы убирается. При таком способе уборки одновременно происходит два процесса: смачивание и смыв увлажненной пыли.

Расход воды на обмывку должен быть не менее 1,5 л на 1 м² обмываемой поверхности. Периодичность смыва определяется с учетом интенсивности пылеотложения - она превышает время накопления взрывоопасного количества пыли, т.к. оседающая на влажную поверхность угольная пыль частично или полностью связывается.

Вместе с тем применение обмывки затрудняет контроль состояния пылевзрывобезопасности выработки, т.к. уже через несколько часов после нее боковые поверхности выработки высыхают.

Предпочтительной областью применения обмывки являются:

- конвейерные выработки;

- погрузочные пункты лав;
- призабойные участки подготовительных выработок протяженностью 50 м.

В глубоких шахтах наиболее перспективным является сухой способ уборки отложившейся пыли, который может производиться:

- вручную - путем сметания или сдувания (плоскими настилающими струями, направленными под углом менее 45° к запыленной поверхности) пыли на почву выработки с последующей погрузкой в вагонетки;
- механизированным способом с помощью пылеулавливающих агрегатов, например, промышленных пылесосов, работающих на принципе одновременного сдувания пыли и отсасывания или гидроулавливания ее.

Недостатком ручного способа уборки, помимо низкой эффективности, является высокая запыленность воздуха вследствие переноса пыли по длине выработки.

Недостатками механизированной уборки являются малая производительность и низкая эффективность пылеотсоса, поскольку очищаемые поверхности зачастую неровны, а сечение выработок в проходке имеет неправильную форму.

По указанным и многим другим причинам сухой способ уборки отложившейся пыли применения в шахтах пока не нашел.

Вместе с тем отсос пыли высокопроизводительными струйными машинами и транспортирование запыленного воздуха по изолированным трубам на поверхность является одним из наиболее эффективных способов борьбы с пылью при комбайновой проходке горных выработок.

12.5.Связывание угольной пыли

Физическая сущность связывания заключается в скреплении (агрегировании) частиц отложившейся и вновь оседающей пыли между собой, а также и с поверхностью выработок, при котором предотвращается ее переход во взвешенное состояние и, следовательно, участие во взрыве.

К этому способу предупреждения взрывов пыли относятся:

- побелка горных выработок;
- связывание смачивающе-связующими составами.

12.5.1.Побелка горных выработок

Способ основан на увлажнении пылевых частиц и последующим скреплением их затвердевшим в виде корки жидким известково-цементным водным раствором в соотношении 2:1:30. Наряду с этим побелка горных выработок осуществляется для облегчения визуального контроля за пылевыми отложениями на ее боках до и после обмывки. Кроме того, побелка улучшает внешний вид выработки и усиливает освещенность, повышая отражательную способность ее боковых поверхностей.

Перед побелкой необходимо смыть отложения угольной пыли. Повторная обмывка выработки после побелки производится по мере образования на ее боках пылевых отложений.

Побелкой в первую очередь следует обрабатывать выработки околоствольного двора, капитальные горные выработки, людские ходки и камеры.

Периодичность побелки определяется в зависимости от интенсивности пылеотложения.

12.5.2.Связывание угольной пыли смачивающе-связующими составами

Для связывания отложившейся угольной пыли используются жидкие или пастообразные смачивающе-связующие составы на основе хлористого кальция, гидрата окиси магния (загустителя) и смачивателя ДБ.

Смачивающе-связующие растворы получают путем добавки в воду хлористого кальция (25...35%), смачивателя ДБ (1...2%) и гидрата окиси магния (5...6%). Их концентрация в растворе должна подбираться в зависимости от относительной влажности воздуха в выработке (табл.12.1).

Таблица 12.1

Смачивающе-связывающие составы

Относительная влажность воздуха, %	Концентрация компонентов в водном растворе, %		
	хлористого кальция	смачивателя ДБ	гидрата окиси магния
до 85	35	2	5...6
Свыше 85	25	1	5...6

Для хранения хлористого кальция и приготовления раствора на шахте должен быть оборудован специальный склад, согласно типовым проектам.

Расход жидкого смачивающе-связующего состава должен быть не менее 0,5 л/м², а пасты не – менее 3,0 л/м².

Связывание угольной пыли смачивающе-связывающими растворами применяется при повышенной интенсивности пылеотложения.

12.6 Увлажнение угля в массиве

Идея способа заключается в смачивании угольной пыли еще до ее образования.

Предварительное увлажнение угля в массиве осуществляется путем нагнетания жидкости в угольный пласт и складывается из следующих основных процессов:

- напорной фильтрации жидкости по микротрещинам и порам;

- капиллярное насыщение микротрещин и пор и физико-химическое взаимодействие жидкости с веществом угля, приводящее к изменению надмолекулярного его строения.

Чтобы повысить смачиваемость угля, используют растворы ПАВ, имеющие аполярную группу. К их числу относится смачиватель ДБ. Скорость фильтрации этого раствора превышает скорость фильтрации воды по напластованию в 2 раза, в крест напластования - в 1,5 раза. При нагнетании раствора ДБ в пласт зона его увлажнения увеличивается на 50%.

Из всех рассмотренных способов наибольшее распространение в угольных шахтах получили осланцевание, обмывка и побелка.

В частности, из-за отсутствия орошения на выемочных комбайнах и невыполнения мероприятий по уборке и связыванию отложившейся угольной пыли (горные выработки аварийного участка на всем протяжении находились в пылевзрывоопасном состоянии) произошел взрыв метана и угольной пыли, в шахте "Пионерка" ПО "Ленинскуголь". При сбое конвейерного штрека с северным путевым уклоном произошло закорачивание вентиляционной струи, в результате чего расход воздуха в монтажной камере N 6 уменьшился с 240 до 10 м³/мин, а концентрация метана возросла с 0,4 до 4...6%. Тем не менее 2 дня на участке велись работы по проходке выработок. Источником воспламенения МВС послужило искрение в электрическом кабеле, поврежденном обрушившимися в камере породами кровли и металлическими верхняками. В свою очередь очаг воспламенения метана явился источником взрыва угольной пыли.

Контрольные вопросы и задания

1. Перечислите способы предупреждения взрывов отложившейся угольной пыли.
2. Что такое норма осланцевания и как она определяется?
3. Охарактеризуйте осланцевание как средство предупреждения отложившейся угольной пыли.
4. Охарактеризуйте орошение как средство предупреждения взрывов отложившейся угольной пыли.
5. Перечислите основные достоинства и недостатки осланцевания и орошения.
6. Как производится уборка пыли в шахтах?
7. Перечислите способы связывания угольной пыли.
8. Чем производится побелка горных выработок? Область ее применения.
9. Из каких процессов складывается увлажнение угля в массиве?
10. Какие способы предотвращения взрывов отложившейся угольной пыли применяются при взрывных работах?

ТЕМА 5 Теория, способы и средства локализации взрыва метана и угольной пыли дисперсными системами в горных выработках

Как известно, дисперсная система представляет собой гетерогенную систему из двух или более фаз с сильно развитой поверхностью раздела между ними.

Причем газообразная фаза (рудничная атмосфера) называется дисперсионной средой, а распределенные в ней частицы порошка (капли воды) – дисперсной фазой.

При локализации взрыва в горных выработках дисперсные системы формируют путем распыления (тем или иным способом) в рудничной атмосфере жидких или порошковых веществ. Поэтому такая система называется неустойчивой – с течением времени содержание дисперсной фазы в ней непрерывно снижается.

Лекция 13 Условия локализации вспышек и взрывов метановоздушных смесей дисперсными системами в горных выработках

13.1 Общие положения

Принятая в настоящее время многоступенчатая система обеспечения взрывобезопасности горных выработок в угольных шахтах является многофункциональной: каждая линия взрывозащиты одновременно локализует взрыв (вспышку) на одной ступени и предупреждает взрыв (вспышку) на следующей. Так, например, забойка шпуров локализует взрыв заряда ВВ и предупреждает вспышки и взрывы метановоздушной и пылевоздушной смеси в призабойном пространстве; предохранительная завеса локализует взрыв шпуровых зарядов без забойки, в том числе зарядов, выброшенных из шпура, а также вспышки МВС, возникшие у забоя выработки, и одновременно предупреждает взрыв МВС и ПВС в призабойном участке выработки. Поэтому рассмотрение общих принципов взрывозащиты горных выработок сводится, в первую очередь, к установлению критериальных условий локализации взрыва.

Локализацию взрыва и вспышки в действующих горных выработках осуществляют буферной средой, которая представляет собой неустойчивую дисперсную систему. Ее называют пламегасящей средой.

Возможны три режима локализации взрыва (вспышки) метана и угольной пыли, а именно:

- за пределами взрывоопасной смеси (в воздухе);
- в пределах запыленного участка горной выработки;
- в пределах загазированного участка выработки.

Наиболее сложным вариантом локализации взрывов дисперсными системами является последний из перечисленных. Это объясняется тем, что пламегасящая среда в этом случае будет представлять собой неустойчивую дисперсную систему со взрывчатой дисперсионной средой – в качестве дисперсионной среды в этом случае выступает взрывчатая метановоздушная смесь. А это в свою очередь означает, что в результате снижения (по тем или иным причинам) содержания флегматизатора (дисперсной фазы) в рудничной атмосфере дисперсная система может стать с течением времени снова взрывчатой.

В этом плане условия локализации взрыва в запыленных выработках (второй режим) менее сложные, т.к. однажды зафлегматизированная угольная пыль будет осаждаться с течением времени вместе с флегматизатором (в предыдущем случае флегматизатор осаждается, а МВС остается в призабойном пространстве).

Следовательно, варианты локализации взрыва в запыленных выработках, а также на участках выработок, на которых не содержится взрывчатой среды, будут частными случаями наиболее сложного варианта - варианта локализации взрыва в загазированных выработках.

Решить задачу обеспечения надежной локализации взрыва в заданных условиях значит установить количественную меру дисперсной фазы (флегматизатора), которая обеспечит гашение продуктов взрыва до безопасных (ниже критических) параметров.

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

$$M_{вп} = C_{вп} \cdot V_{пс} = C_{вп} \cdot \ell_{пс} \cdot S, \text{ кг}, \quad (13.1)$$

где $M_{вп}$ - взрывоподавляющая (пламегасящая, локализирующая) навеска флегматизатора;

$C_{вп}$ - удельный расход флегматизатора для локализации взрыва в заданных условиях;

$V_{пс}$ - объем пламегасящей среды;

$\ell_{пс}$ - протяженность пламегасящей среды вдоль оси выработки;

S - площадь поперечного сечения выработки.

Единственным неизвестным параметром в формуле (13.1) является $C_{вп}$. Для его определения необходимо было установить механизм локализации взрыва дисперсной системой, в том числе со взрывчатой дисперсионной средой и, в первую очередь, выяснить роль ингибирования и теплопоглощения в этом процессе, т.е. определить, что главное у взрывоподавляющих веществ при каждом режиме локализации – ингибирующая или теплофизическая эффективность? Правильный ответ на поставленный вопрос зависит, как показали широкомасштабные экспериментальные исследования, от условий локализации взрыва.

Экспериментальные исследования проводились в опытном штреке при трех принципиально отличных друг от друга режимах локализации взрыва

пламегасящою середою, формовуваною вибуховим розпиленням флегматизатора. Принципова схема локалізації вибуху при проведенні експериментів показана на рис.13.1.

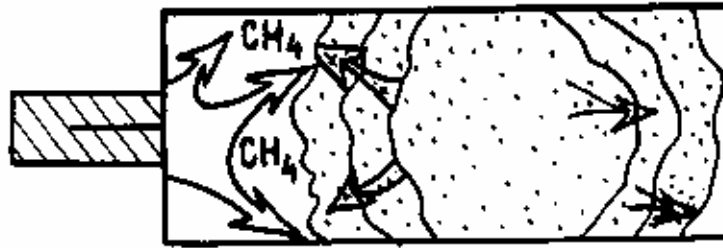


Рис. 13.1. Принципова схема локалізації вибухів при експериментальних підриваннях в дослідному штреку.

13.2 Условия локализации вспышек и взрывов за пределами взрывчатой среды

Данный режим локализации характеризуется следующими особенностями: пламегасящая среда формируется за пределами загазированного (запыленного) участка горной выработки (в воздухе), но в пределах критической дальности разлета высокотемпературных продуктов взрыва т.е. при $L_k > l_{nc}$.

Этот режим локализации воспроизводился в опытном штреке по следующей схеме (рис. 13.2). В качестве источника воспламенения метановоздушной смеси был принят взрыв открытого (свободно подвешенного) патрона аммонита Т-19 массой 0,3 кг, инициируемого ЭД мгновенного действия. Скорость развития взрыва в этом случае составляла 90...360 м/с при среднем ее значении 130 м/с. Наиболее часто встречалась (в 27 из 75 экспериментов) скорость равная 120 м/с.

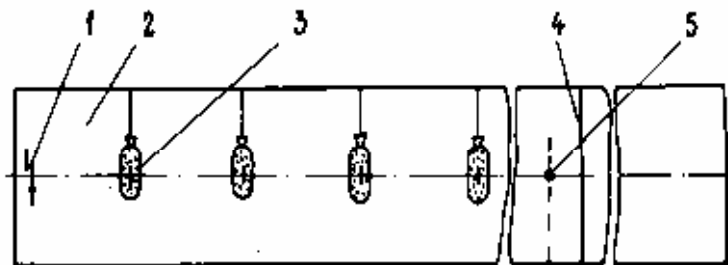


Рис. 13.2. Схема локалізації вибухів в дослідному штреку:

1 - спалахуючий заряд ВР; 2 - метаноповітряна суміш; 3 - простий вибухоподавлювач; 4 - діафрагма; 5 - датчик полум'я.

Задача эксперимента сводилась к установлению величины распыляемой навески флегматизатора, при которой высокотемпературные продукты взрыва оказывались погашенными (охлажденными) в пределах зафлегматизированной зоны.

В результате математической обработки экспериментальных данных установлено следующее.

При локализации взрыва (вспышки) за пределами взрывоопасной зоны (в воздухе) эффективность флегматизаторов является однозначной функцией их теплофизических характеристик (удельного теплопоглощения и насыпной плотности) - ингибирующие свойства флегматизаторов не оказывают влияния на величину пламегасящей навески.

Этот вывод наглядно подтверждается прямыми экспериментами с карбамидами и водными растворами ПАВ. Так, например, флегматизирующая эффективность гранулированного карбамида более чем в 20 раз ниже порошкового, но в то же время пламегасящая навеска для обеих композиций оказалась почти одинаковой. Второй пример: пламегасящая эффективность воды и водных растворов ПАВ оказалась примерно одинаковой, хотя по флегматизирующей эффективности они отличаются друг от друга в 2,5...3,0 раза. Наконец, в случае применения в процессе исследований хлорида натрия различной дисперсности (вплоть до 1 мкм), который находится вверху ряда флегматизирующей эффективности веществ, взрыв не был локализован при распылении навесок 20,7; 23,0; 25,9 и 36,8 кг, причем пламя взрыва во всех случаях выходило из штрека (дальнейшие эксперименты были прекращены из-за значительного расхода порошка, отрицательно влияющего на работоспособность всей системы опытного штрека). Расчеты показывают, что для локализации такого модельного взрыва ($Q_t = 8,2 \cdot 10^8$ Дж/с) необходимо было распылять 43,8 кг хлорида натрия.

Концентрация флегматизатора, при которой достигается локализация взрыва, называется пламегасящей концентрацией (C_n).

Таким образом, единственным условием обеспечения локализации взрыва (вспышки) за пределами взрывчатой среды является:

$$C_{вп} \geq C_n. \quad (13.2)$$

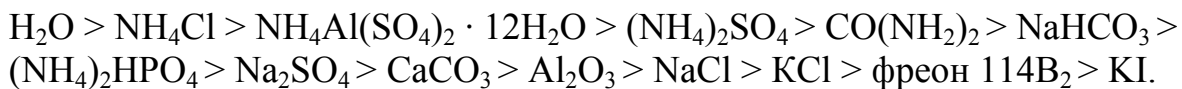
Концентрацию C_n определяют по эмпирической формуле (коэффициент корреляции равен 0,995)

$$C_n = 2,49 \cdot 10^7 \cdot \lambda^{-1,29} \cdot (\eta - 1,11)^{0,92}, \quad (13.3)$$

где λ - удельное теплопоглощение флегматизатора, Дж/кг.

Теплопоглощающие свойства простых веществ определяются их теплоемкостью, а для разлагающихся систем - эндотермичностью реакций разложения и теплоемкостью образующихся продуктов. Удельное теплопоглощение рассчитывается общепринятым методом по стандартным энтальпиям образования соединений или определяется экспериментально.

Ряд теплофизической эффективности веществ (в порядке убывания эффективности), построенный по величине удельного теплоспоглощения, выглядит следующим образом:



Методика расчета параметров пламегасящей среды для локализации взрыва в этих условиях зависит от постановки задачи.

Наиболее часто практика ставит задачу определить расход конкретного флегматизатора на локализацию заданного взрыва в пределах заданного участка выработки, т.е. задаются Q_t и L_k . Тогда сначала определяют параметры η из формулы для расчета L_k (2.7), а затем рассчитывают концентрацию C_{Π} по (13.3).

Иногда становится другая задача: определить длину пламегасящей среды (l_{nc}), необходимую для локализации заданного взрыва (Q_t) при заданной концентрации заданного флегматизатора (C). Тогда вначале рассчитывают параметр « η » по известной эмпирической формуле (2.6), а затем вычисляют L_k по (2.7).

Таким образом существует две типовые задачи по локализации взрыва (вспышки) за пределами загазированной зоны.

Типовая задача 1.

Дано, например, S , Q_t , L_k , λ .

Найти: $C_{ВП}$ и $M_{ВП}$

Решение

а) по формуле (2.7) рассчитывают параметр L_k при $\eta = 1$.

Если полученное значение L_k окажется меньше заданной в условии задачи величины L_k , то гашение продуктов взрыва будет достигнуто на заданном участке без дополнительного распыления флегматизатора (в воздухе).

Если полученное значение L_k окажется больше заданной в условии задачи величины L_k , то задача решается в приведенной далее последовательности.

б) из формулы для расчета L_k (2.7) определяют параметр η ;

в) рассчитывают параметр C_{Π} по эмпирической формуле (13.3);

г) принимают $C_{ВП}$ равным C_{Π} ;

д) принимают $l_{nc} = L_k$;

е) определяют общий расход флегматизатора по (13.1).

Типовая задача 2.

Дано, например, S , Q_t , C , λ .

Найти: l_{nc} и $M_{ВП}$

Решение

- а) рассчитывают параметр η по эмпирической формуле (2.6);
- б) рассчитывают L_k по формуле (2.7);
- в) принимают $l_{nc} = L_k$;
- г) определяют общий расход флегматизатора по (13.1).

Ниже приведен конкретный пример на решение первой типовой задачи

Задача 13.1 Определить расход гидрокарбоната натрия ($\lambda = 1585,5$ кДж/кг), необходимого для локализации взрыва метано-воздушной смеси ($\tau_c = 6,52$ мс, $V_c = 1,6$ м³) в опытном штреке ($S = 2,5$ м²) (воспламенение у днища штрека) при концентрации гидрокарбоната натрия в атмосфере равной 0,58 кг/м³ ($C = 0,58$ кг/м³).

Решение.

Определяем тепловую мощность локализуемого взрыва

$$Q_t = \frac{3,381 \cdot 10^6 \cdot 1,6}{6,52 \cdot 10^{-3}} = 8,2 \cdot 10^8 \text{ Дж/с}$$

Определяем показатель относительной пламегасящей эффективности среды $\eta = 1,08 \cdot 10^{-8} \cdot C^{1,07} \cdot \lambda^{1,40} + 1,11 = 1,08 \cdot 10^{-8} \cdot 0,58^{1,07} \cdot (1585,5 \cdot 10^3)^{1,40} + 1,11 = 1,08 \cdot 10^{-8} \cdot 0,558 \cdot 4,8 \cdot 10^8 + 1,11 = 4,0$

Определяем критическую длину зоны разлета высокотемпературных продуктов взрыва

$$L_k = 6,13 \cdot 10^{-4} \cdot \sqrt{Q_t/\eta} = 6,13 \cdot 10^{-4} \sqrt{8,2 \cdot 10^8/4,0} = 8,78 \text{ м.}$$

Принимаем $l_{nc} = L_k = 8,78$ м

Определяем объем пламегасящей среды $V_{nc} = l_{nc} \cdot S = 8,78 \cdot 2,5 = 21,95$ м³

Принимаем $C_{вп} = C = 0,58$ кг/м³

Определяем расход гидрокарбоната натрия на локализацию взрыва

$$M_{вп} = C_{вп} \cdot V_{nc} = 0,58 \cdot 21,95 = 12,8 \text{ кг.}$$

В экспериментах в опытном штреке при 12,4 кг получена локализация взрыва, а при 7,5 кг взрыв не был локализован.

13.3 Условия локализации вспышек во взрывчатой среде

Данная задача была решена в условиях режима локализации, который характеризовался следующими особенностями: пламегасящая среда формируется непосредственно во взрывчатой метановоздушной (пылевоздушной) смеси и имеет протяженность вдоль оси выработки, превышающую длину участка, в пределах которого достигается охлаждение высокотемпературных продуктов взрыва в воздухе до безопасных параметров, т.е. при $L_k < l_{nc}$.

На практике этот режим был реализован в опытном штреке по схеме, подробно рассмотренной в лекции 9 (см. рис. 9.1). Расчеты исходя из динамики развития взрыва и наблюдения за состоянием полиэтиленовых пленок -

свидетелей в процессе проведения экспериментов показали, что к моменту встречи с пламегасящей средой радиус очага воспламенения при данной схеме взрывания не превышал 0,66 м. При этом в опытах с локализацией вспышек длина зоны разлета высокотемпературных продуктов взрыва в пламегасящей среде составляла 0,5...0,7 м при протяженности пламегасящей среды вдоль штрека в момент гашения продуктов взрыва не менее 3,0 м. Это означает, что в случае локализации пламя взрыва распространялось от днища штрека на длину не более $0,30 + 0,66 + 0,70 = 1,66$ м, что примерно вдвое меньше протяженности зафлегматированной зоны. При этом передний фронт пламегасящего облака достигал днища штрека за время не более 40 мс. Средняя скорость развития воспламенения была равна величине порядка 15 м/с.

Результаты опытов, проведенных с жидкими (более 60 опытов) и порошковыми (около 80 опытов) веществами при различных режимах их распыления позволили установить следующее.

Вспышку метановоздушной смеси невозможно локализовать взрывчатой дисперсной системой, т.е. концентрация флегматизатора во взрывчатой смеси должна быть не ниже флегматизирующей в период гашения пламени. Кажется, на первый взгляд, что это очевидный вывод. Однако многие специалисты считают, что даже в случае неполной флегматизации, т.е. при $C < C_{\text{ф}}$, взрыв может затухнуть из-за недостаточного количества тепла, выделяющегося в процессе горения метана. Это в корне ошибочное утверждение. Во-первых, возможно «холодное» воспламенение по цепному механизму. Во-вторых, и это главное, при таких рассуждениях не учитывается тот факт, что флегматизирующая концентрация вещества в смеси и есть та минимальная его удельная навеска, при которой процесс воспламенения по тому или иному механизму не может самораспространяться.

Это означает, что если протяженность зафлегматизированного участка выработки превышает возможную критическую длину зоны разлета высокотемпературных продуктов взрыва, то процесс локализации вспышки в загазированной (запыленной) выработке сводится только к превращению взрывчатой среды в невзрывчатую систему, т.е. к ингибированию (флегматизации), и наиболее эффективными оказываются вещества с высокими флегматизирующими свойствами.

Поэтому для локализации вспышки во взрывчатой среде необходимым и достаточным условием служит:

$$C_{\text{вп}} \geq C_{\text{в}} \quad (13.4)$$

При этом

- в загазированной выработке

$$C_{\text{в}} \geq C_{\text{ф}} \cdot K_{\text{н}} \quad (13.5)$$

- в выработках, находящихся в пылевзрывоопасном состоянии

$$C_{\text{в}} \geq C_{\text{ву}} \quad (13.6)$$

13.4 Условия локализации взрыва во взрывчатой среде

Установлены экспериментально при так называемом комбинированном режиме локализации взрывов. Цель экспериментов - определить условия локализации «сильных» взрывов в загазированных выработках.

Отличительной особенностью этого режима локализации является то, что пламегасящая среда формируется во взрывчатой метановоздушной (пылевоздушной) смеси, т.е. как при предыдущем режиме, но в пределах критической дальности разлета раскаленных продуктов взрыва в воздухе, т.е. при $L_k > \ell_{\text{пс}}$.

Для воспроизводства такого режима локализации в опытном штреке применялась схема, приведенная на рис. 13.2, но взрывчатая метановоздушная смесь создавалась не только во взрывной камере штрека (длина 4 м), но и на протяжении 10...12 м, считая от днища (длина штрека равна 15 м). Поэтому метановоздушная смесь при этих взрывах располагалась как внутри пламегасящей среды, так и за ее пределами. В качестве источника воспламенения использовался взрыв открытого заряда аммонита Т-19 массой 0,3 кг. Этим воспроизводились мощные («сильные») взрывы.

Установлено, что пламегасящая концентрация, рассчитанная по формуле (13.3), т.е. для условий, когда в качестве дисперсионной среды выступает воздух, обеспечивает гашение высокотемпературных продуктов взрыва и в случае полного загаживания выработки, т.е. когда роль дисперсионной среды выполняет взрывчатая метановоздушная смесь, но только при условии, что эта концентрация флегматизатора в пламегасящей среде будет, как и в случае локализации вспышки, не меньше флегматизирующей в процессе гашения пламени взрыва. Это означает, что при локализации взрыва в пределах взрывчатой газопылевоздушной смеси должно выполняться одновременно все условия, установленные для рассмотренных выше двух режимов, а именно:

$$C_{\text{вп}} \geq C_{\text{п}} \text{ и } C_{\text{вп}} \geq C_{\text{в}}$$

Вот несколько примеров. При распылении 8,5 кг водного раствора ПАВ фактическая дальность распространения пламени составляла 6,0 м. Попытка увеличить это расстояние до предусмотренного методикой значения равного 9,5 м (место установки фотодиода в опытном штреке) путем уменьшения количества жидкости одновременно во всех сосудах приводила к неожиданному на первый взгляд результату: дальность распространения пламени не увеличивалась постепенно, например, до 7,5; 7,0; 6,5 м и т.д., а наоборот при определенном снижении массы распыляемой навески наблюдался мощный взрыв и скачкообразное увеличение дальности распространения пламени с выходом его из штрека (довести длину зоны разлета до 9,5 м таким путем не удалось). На это имеется единственное объяснение: при снижении общей навески распыляемого взрывом флегматизатора его концентрация в МВС становилась на какой-то стадии меньше флегматизирующей (взрыво-

предотвращающей), что приводило к воспламенению метановоздушной смеси во всем объеме загазированного участка опытного штрека.

Второй пример: несмотря на многократное превышение количества распыленного флегматизатора по сравнению с минимально необходимым для гашения продуктов взрыва заданной мощности (определяемом, как известно, параметром C_n) взрыв удавалось локализовать только в тех опытах, в которых взрывоподавляющая концентрация оказывалась равной взрывопредотвращающей (например, при распылении воды общим объемом равным 120 и 110 л вместо необходимого исходя из ее теплофизических свойств, т.е. исходя из величины C_n , количества равного 12 л).

Величина C_n не является константой для данного флегматизатора. Она зависит от протяженности пламегасящей среды, размеров локализуемого очага воспламенения, скорости его развития и других факторов. Разница между C_n и C_v будет тем больше, чем меньше длина пламегасящей среды и чем больше размер очага воспламенения и тепловая мощность локализуемого взрыва к моменту создания указанной среды. Если параметры локализуемого взрыва велики, а протяженность пламегасящей зоны ограничена, например, размерами защищаемого объема, то C_n может превышать C_v в десятки или даже сотни раз. В некоторых случаях при развитии очага воспламенения до определенных размеров в условиях ограниченной протяженности пламегасящей зоны и низкой теплофизической эффективности гасящего вещества подавить очаг воспламенения в данном конкретном объекте, например, в замкнутом технологическом аппарате, оказывается невозможным.

Задача 13.2 Определить количество гидрокарбоната натрия ($C_f = 150 \text{ г/см}^3$, $\lambda = 1585,5 \text{ кДж/кг}$), необходимого для локализации взрыва метановоздушной смеси ($\tau_c = 6,52 \text{ мс}$, $V_c = 1,6 \text{ м}^3$) в загазированном опытном штреке (воспламенение у днища штрека) в пределах призабойного участка длиной 9,5 м, считая от днища штрека ($S = 2,5 \text{ м}^2$). Время прохождения пламенем пламегасящей среды равно 15,7 мс ($t = 15,7 \text{ мс}$). Пламегасящая среда создается путем распыления из полиэтиленовых сосудов, рассредоточенных вдоль штрека, взрывом 0,2 кг угленита Э-6.

Решение.

Определяем тепловую мощность локализуемого взрыва

$$Q_t = \frac{q \cdot V_c}{\tau_c},$$

где q - удельная теплота взрыва МВС ($q = 3,381 \cdot 10^6 \text{ Дж/м}^3$)
Тогда

$$Q_t = \frac{3,381 \cdot 10^6 \cdot 1,6}{6,52 \cdot 10^{-3}} = 8,2 \cdot 10^8 \text{ Дж/с}$$

Определяем относительный показатель теплофизической эффективности среды

$$L_k = 6,13 \cdot 10^{-4} \cdot \left(\frac{Q_t}{\eta} \right)^{1/2}$$

Отсюда

$$\frac{Q_t}{\eta} = \left(\frac{L_k}{6,13 \cdot 10^{-4}} \right)^2 = \left(\frac{9,5}{6,13 \cdot 10^{-4}} \right)^2 = 2,05 \cdot 10^8 \text{ Дж/с}$$

$$\text{Тогда } \eta = Q_t / 2,05 \cdot 10^8 = 8,2 \cdot 10^8 / 2,05 \cdot 10^8 = 4,0.$$

Определяем пламегасящую концентрацию

$$C_n = 2,49 \cdot 10^7 \cdot \lambda^{-1,29} (\eta - 1,11)^{0,92} = 0,58 \text{ кг/м}^3$$

Определяем взрывопредотвращающую концентрацию

$$C_v = C_{\phi} \cdot K_n$$

$$K_n = \frac{F_o}{S} = \frac{F_o}{2,5}$$

$$F_o = \frac{\pi \cdot R_o^2}{4} + 1$$

Из динамической кривой находим, что через 15,7 мс после начала распыления $R_o = 3,1$ м.

Тогда по (8.3) находим

$$F_o = \frac{3,14 \cdot 3,1^2}{4} + 1 = 9,5 \text{ м}^2$$

Тогда

$$K_n = 9,5 / 2,5 = 3,8; C_v = 0,15 \cdot 3,8 = 0,57 \text{ кг/м}^3$$

Т.к $C_n \approx C_v$, то система распыления флегматизатора и сам флегматизатор обеспечивают создание невзрывчатой пламегасящей среды.

Устанавливаем удельный расход флегматизатора на локализацию взрыва:

$$C_{вп} = C_n = 0,58 \text{ кг/м}^3$$

Определяем объем пламегасящей среды

$$V_{пс} = l_{пс} \cdot S$$

$$l_{пс} = L_k$$

$$V_c = 1,6$$

$$l_c = \frac{V_c}{S_{св}} = \frac{1,6}{2,5} = 0,64 \text{ м}$$

$$l_{пс} = 9,5 - 0,64 = 8,86 \text{ м,}$$

$$V_{пс} = 8,86 \cdot 2,5 = 22,15 \text{ м}^3$$

Определяем расход гидрокарбоната натрия на локализацию взрыва

$$M_{вп} = C_{вп} \cdot V_{пс} = 0,58 \cdot 22,15 = 12,8 \text{ кг}$$

Экспериментальная проверка показала что взрыв локализуется при расходе гидрокарбоната натрия равном 12,4 кг. При распылении 7,5 и 5,0 кг взрыв не был локализован, т.к. концентрация флегматизатора была равна 0,35 и 0,24 кг/м³ соответственно, т.е. меньше C_n и C_v .

13.5 Диаграмма локализации взрыва дисперсными системами в загазированных (запыленных) горных выработках

Проведенные эксперименты позволили окончательно сформулировать условие локализации взрыва в пределах зоны со взрывчатой метано- и (или) пылевоздушной смесью, а именно:

$$C_n \leq C_{вп} \leq C_v, \quad (13.7)$$

причем

$$C_{ву} \leq C_v \leq C_{ф} \cdot K_n \quad (13.8)$$

Это означает, что за величину удельного расхода флегматизатора на локализацию взрыва принимается наибольшее из двух значений, т.е. C_n или C_v . Причем за величину взрывопредотвращающей концентрации также выбирается наибольшее из двух значений, т.е. $C_{ву}$ или $K_n C_{ф}$.

Для конкретных устройств $C_{вп}$ принимается равной C_n и проверяется по C_v ($C_{ф}$, K_n и $C_{ву}$). Если не выполняются условия (13.7) и (13.8), то изменяют пространственную схему размещения устройства в защищаемом объекте или, в крайнем случае, изменяют их конструкцию.

Как следует из установленных условий, процесс локализации взрыва с помощью дисперсных систем со взрывчатой дисперсионной средой является дискретным. При этом имеется три 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 $C = C_v$ из-за нарушения непрерывности процесса взрывного горения МВС в результате деления пламегасящей (невзрывчатой) средой загазированного тупика выработки на два участка;
- при $C = C_n$ из-за не выхода пламени взрыва (с критическими параметрами) за пределы пламегасящей среды, а следовательно, невоспламенения дальнего загазированного участка выработки;

- при $C = \rho$ из-за камуфлета.

Наглядное представление о механизме и критериальных условиях локализации взрыва дисперсной системой в загазированных горных выработках дает специальная диаграмма: длина зоны разлета высокотемпературных продуктов взрыва (L) - концентрация флегматизатора в метановоздушной смеси (C), т.е. диаграмма L - C (рис. 13.3).

Рассмотрим этот процесс подробно.

Пусть тупиковая часть выработки заполнена на длину ℓ_{co} взрывчатой метановоздушной смесью. У забоя выработки возник источник воспламенения смеси. Такая ситуация привела к взрыву (вспышке). В результате этого высокотемпературные продукты взрыва могут распространяться вдоль выработки на длину L_1 .

На пути распространения пламени сформируем в пределах загазированной зоны пламегасящую среду (между пунктами ℓ_c и ℓ_{nc}).

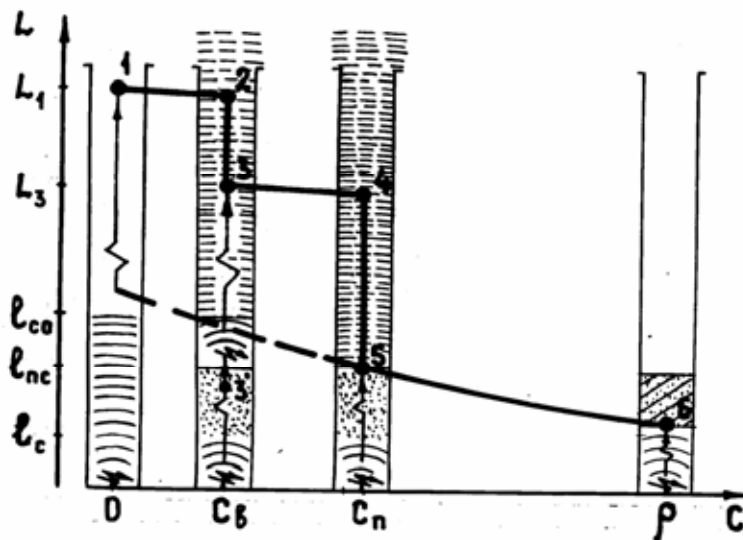


Рис. 13.3. Диаграмма локалізації вибуху в гірничій виробці дисперсною системою

($0 - \ell_{co}$) - довжина загазованої зони;

($\ell_c - \ell_{nc}$) - довжина буферного середовища.

Рассмотрим как при этом будет изменяться длина зоны разлета продуктов взрыва.

При росте концентрации вещества до определенного предела параметр L практически не будет изменяться (согласно классическим представлениям, он все же будет незначительно уменьшаться за счет сокращения скорости развития взрыва на участке « ℓ_c — ℓ_{nc} » из-за наличия в смеси флегматизатора). Этот участок на диаграмме изображается кривой 1-2.

При достижении в смеси концентрации равной флегматизирующей (C_f) пламегасящая среда превращается в невзрывчатую систему, т.е. метановоздушная смесь на участке « $\ell_c - \ell_{nc}$ » не воспламеняется.

Однако в практических условиях пламегасящая зона имеет ограниченную протяженность и тогда распыленная навеска флегматизатора может не обеспечить гашение продуктов взрыва до безопасных пределов. Пламя взрыва "прошьет" пламегасящую зону и воспламенит смесь на участке « $l_{ps} - l_{co}$ ». В результате продукты взрыва распространятся на расстояние L_3 , что определяет точку 3. Наступает первый скачок критической длины зоны разлета раскаленных продуктов взрыва (распространения пламени).

Как известно, гашение продуктов взрыва происходит не мгновенно. Длительность этого процесса равна времени действия очага (источника) воспламенения. Поэтому для поддержания концентрации флегматизатора в пламегасящей среде не ниже C_f в течение всего этого периода необходимо, чтобы начальное ее значение было равно взрывопредотвращающей (C_v) с тенденцией $C_v \Rightarrow C_f$. В связи с этим первый пороговый скачок на диаграмме показан при $C = C_v$.

При дальнейшем повышении концентрации дисперсной фазы до определенного предела дальность разлета продуктов взрыва практически не будет сокращаться. При достижении концентрации равной пламегасящей (C_p) наступает второй пороговый скачок критической длины зоны разлета раскаленных продуктов взрыва. Дальность распространения пламени резко сокращается: оно не выходит за пределы пламегасящей среды (точка 5) (при длине загазированного участка, не превышающей l_c , т.е. (при локализации дисперсной системой за пределами загазированной зоны, процесс охлаждения продуктов взрыва аппроксимируется на диаграмме $L - C$ пунктирной линией).

При дальнейшем повышении концентрации дисперсной фазы в пламегасящей среде длина зоны разлёта будет непрерывно сокращаться. Этот участок на диаграмме изображается кривой 5 - 6. При концентрации численно равной насыпной плотности вещества (ρ), может наступить третий пороговый скачок, т.е. реализоваться режим камуфлета, при котором пламегасящая среда саморасклинивается и запирает продукты взрыва на участке « $o - l_c$ » (точка 7).

Таким образом, из диаграммы $L - C$ следует, что при ограниченной длине l_{co} (загазированной зоны) максимальная дальность распространения пламени в выработке имеет конечные размеры, зависящие от концентраций C_v и C_p , ограниченные ломанной 1 - 2 - 3 - 4 - 5 - 6 - 7. При этом поле слева от линии 2 - 3 и ниже линии 1 - 2 определяет область, в которой невозможно локализовать взрыв в загазированной выработке.

Из анализа диаграммы $L - C$ вытекают следующие направления обеспечения взрывобезопасности горных выработок при производстве взрывных работ:

- создание условий производства взрывных работ, при которых $L \sim l_c$, т.е. реализация ситуации, определяемой на диаграмме точкой 7 (камуфлетный режим взрывания);

- создание предохранительной среды, плотно прилегающей к забою выработки, чтобы $L \sim 0$, т.е. реализация условия, определяемого точкой пересечения прямой 2-3 с осью С;
- создание на пути возможного распространения продуктов взрыва такой пламегасящей среды, при которой $L \leq 1$ пс, т.е. реализация ситуации, определяемой точкой 5.

Задача 13.3.

В откаточном штреке взрывные работы ведутся по породной подрывке. Угольный забой опережает породный на 1,36 м, мощность пласта равна 0,9 м. Сечение выработки вчерне равно $12,6 \text{ м}^2$. Ширина угольного забоя равна 4,6 м. В качестве предохранительной среды применяются аэрозольные порошковые завесы, устраиваемые в выработке на расстоянии 1,0 м от забоя (от породной подрывки). Расход ингибитора равен 19,5 кг ($5,5 \times 3 + 3,0 \times 1$). Установить сможет ли создаваемая в выработке аэрозольная порошковая завеса локализовать очаг воспламенения, возникший в передовой угольной полости, если в ней в нарушение требований ЕПБ не будут размещены пакеты с ингибитором и распыляющим зарядом, т.е. не будет устроен второй ряд завесы.

Решение

Определяем объём воспламенившейся в опережающей полости смеси

$$V_c = 4,6 \times 0,9 \times 1,36 = 5,63 \text{ м}^3$$

Определяем тепловую мощность взрыва.

Как известно, в призабойном участке выработки протяжённостью до 30 м средняя скорость развития вспышки колеблется в пределах 25...50 м/с ("слабый" взрыв), а скорость развития взрыва - 250...300 м/с ("сильный" взрыв).

Принимаем, что в опережающей полости произошла вспышка стехиометрической метановоздушной смесью со средней скоростью развития пламени равной 37,5 м/с ($v_c = 37,5 \text{ м/с}$). Вспышка произошла, например, от раскалённых продуктов детонации шпуровых зарядов, прорвавшихся в полость через трещины в породной подрывке. Тогда

$$Q_t = \frac{v_c \cdot q_{\text{CH}_4} \cdot V_c}{l_c} = \frac{5,63 \cdot 3,381 \cdot 10^6 \cdot 37,8}{1,36} = 5,25 \cdot 10^8 \text{ Дж/с}$$

Определяем протяжённость аэрозольной завесы (пламегасящей среды) вдоль оси выработки по формуле:

$$l_{\text{пс}} = l_3 + 3,0 = 1 + 3 = 4,0 \text{ м,}$$

где l_3 - расстояние первого ряда сосудов (пакетов) с флегматизатором от забоя выработки, м;

3,0 - радиус эффективного действия предохранительной среды через 15 мс от начала взрывного распыления флегматизатора.

Находим объём пламегасящей среды

$$V_{\text{пс}} = l_{\text{пс}} \cdot S_{\text{вч}} = 4,0 \cdot 12,6 = 50,4 \text{ м}^3$$

Считаем, что для создания аэрозольной порошковой завесы применялся наиболее эффективный по теплофизическим свойствам порошковый ингибитор ПСБ - ТМ, для которого $\lambda = 2012 \cdot 10^3$ Дж/кг.

Определяем начальную концентрацию ингибитора в пламегасящей среде

$$C = \frac{19,5}{50,4} = 0,4 \text{ кг/м}^3$$

Определяем относительный показатель пламегасящей эффективной аэрозольной порошковой завесы

$$\eta = 1,08 \cdot 10^{-8} \cdot 0,4^{1,07} \cdot 2012000^{1,4} + 1,11 = 3,76$$

Определяем критическую длину зоны разлёта раскалённых продуктов воспламенения метановоздушной смеси

$$L_{\text{к}} = 6,1 \cdot 10^{-4} \cdot \sqrt{5,25 \cdot 10^8 / 3,76} = 7,21 \text{ м}$$

Это означает, что минимально необходимая длина предохранительной среды равна, т.е. $l_{\text{пс min}} = L_{\text{к}} = 7,21 \text{ м}$.

Следовательно, фактическая протяжённость аэрозольной порошковой завесы меньше минимально необходимой для локализации вспышки, т.е.

$$4,0 \text{ м} < 7,21 \text{ м}$$

Это означает, что если в опережающей полости не будет создана предохранительная завеса перед взрыванием зарядов ВВ по породной подрывке, то даже в самых благоприятных для обеспечения безопасности взрывных работ условиях (применяется ингибитор с высокими теплофизическими свойствами, а в полости произошла только вспышка метана) воспламенение не будет локализовано однорядной аэрозольной порошковой завесой, созданной в выработке. Пламя «прошьёт» её и воспламенит расположенную за пламегасящей средой метановоздушную смесь.

Контрольные вопросы и задания

1. Перечислите возможные на практике режимы локализации взрыва.
2. Как определяется общий расход флегматизатора на локализацию взрыва?
3. Условия локализации вспышек и взрывов за пределами взрывчатой среды.
4. Условия локализации вспышек во взрывчатой среде.

5. Условия локализации взрыва дисперсной системой в загазированных горных выработках.
6. Каковы типичные задачи по локализации взрыва, которые решаются на практике?
7. Какова роль ингибирования и теплопоглощения при различных режимах локализации взрыва?
8. Дайте определение пламегасящей концентрации (C_n). От каких параметров она зависит?
9. При каких концентрация флегматизатора наблюдаются пороговые скачки критической длины зоны разлёта высокотемпературных продуктов взрыва при локализации взрыва дисперсной системой в загазированных выработках?

Лекция 14 Пассивные заслоны

14.1 Общие сведения

Все системы локализации взрыва по принципу действия (срабатывания, включения) можно разделить на две группы:

- системы, срабатывающие от воздушной ударной волны, формируемой локализуемым взрывом, называемые пассивными заслонами;
- системы, принудительно срабатывающие по команде специальных датчиков, реагирующих на какое-либо физическое явление, сопровождающее вспышку (взрыв), называемые автоматическими системами (автоматическими заслонами).

В практике всех угледобывающих стран в качестве основного средства второй линии взрывозащиты в угольных шахтах применяют в основном пассивные заслоны, с помощью которых изолируются наиболее вероятные очаги воспламенения.

Пассивный заслон представляет собой стационарное сооружение, состоящее из открытых емкостей с флегматизатором, устанавливаемых под кровлей поперек выработки на неустойчивых опорах.

14.2 Принцип действия, классификация и область применения

Принцип действия пассивных заслонов основан на использовании закономерностей развития взрывного горения пылеметановоздушных смесей.

Известно, что после возникновения очага воспламенения в процессе его развития в окружающей среде формируется двойной комплекс, состоящий из воздушной ударной волны и движущегося за ней фронта горения (пламени). По мере нарастания скорости горения расстояние между этими фронтами уменьшается. Таким образом, принцип действия пассивного заслона основан на том, что при взрыве метана или пыли ударная волна, распространяющаяся по выработке впереди фронта пламени, взаимодействуя с заслоном опрокидывает и разрушает его, диспергируя флегматизатор, в результате чего образуется плотная преграда в виде пламегасящей среды, которая охлаждает продукты взрыва до критических пределов.

Гасящее действие инертных веществ заключается в охлаждении зоны горения ниже температуры воспламенения метана и пыли, разбавлении концентрации угольной пыли до взрывобезопасной, снижении содержания кислорода и др. Для локализации необходимо обеспечить отвод тепла из зоны реакции со скоростью, превышающей скорость распространения взрыва.

Пассивными заслонами должны быть изолированы (защищены):

- очистные выработки;
- забои подготовительных выработок, проводимых по углю или по углю и породе;
- крылья шахтного поля на каждом пласте;
- конвейерные выработки.

Пассивные заслоны классифицируют по следующим трем признакам:

а) по виду пламегасящего вещества на:

- сланцевые, в которых в качестве флегматизатора (гасящего вещества) используется инертная пыль;
- водяные, в которых в качестве гасящего вещества используется вода;

б) по количеству защищаемых выработок на :

- основные, служащие для изоляции крыльев шахтного поля, конвейерных выработок, участков горных работ;
- вспомогательные, служащие для изоляции очагов возможного возникновения взрыва вблизи отдельных забоев подготовительных выработок.

в) по распределению гасящего вещества в заслоне на:

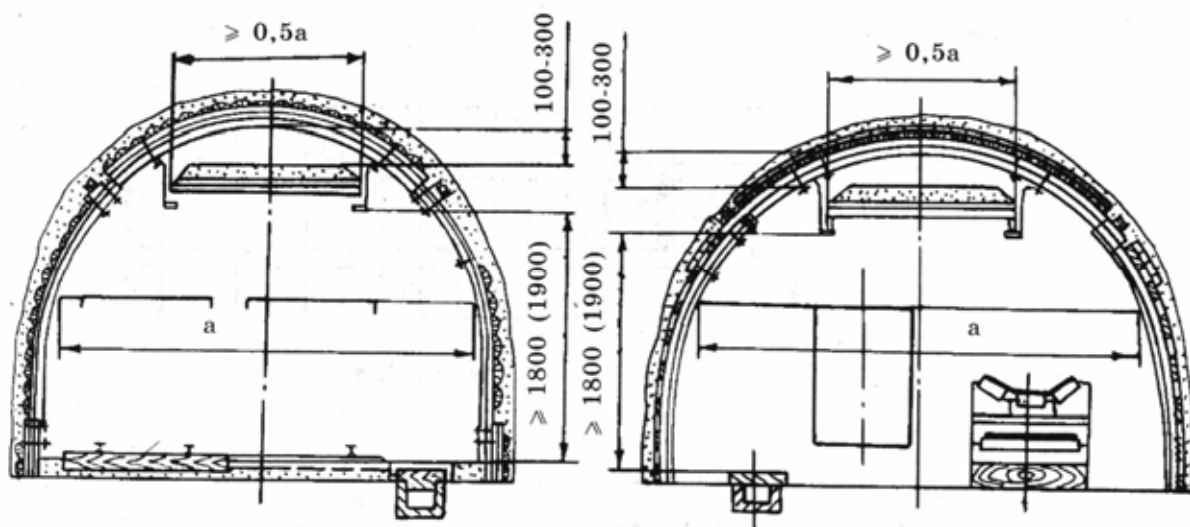
- концентрированные, при которых поперечные ряды емкостей с инертной пылью или водой размещены компактно на небольшом участке выработки (на длине 20...30 м);
- рассредоточенные, при которых поперечные ряды емкостей, заполненные взрывогасящим веществом, размещаются по всей длине выработки на значительном (до 5...40 м) удалении друг от друга.

14.3 Конструкция заслонов

Применяемые в разных странах заслоны отличаются по конструктивному исполнению отдельных элементов, способом подвески в выработке, геометрическими параметрами.

14.3.1 Сланцевые заслоны

Сланцевые заслоны устраиваются из ряда устанавливаемых под кровлей поперек выработки деревянных полок жесткой конструкции или со свободно лежащим настилом с опорами в виде перевернутой трапеции, на каждой из которых размещена инертная пыль в насыпном виде (рис. 14.1).



Расстояние между полками принимается равным их ширине (600...800 мм). Длина сланцевого заслона должна быть не менее 20 м.

По бокам к полке допускается прибивать бортики высотой не более 80 мм, которые препятствуют осыпанию инертной пыли.

Полки заслона должны легко опрокидываться от воздушного потока, но быть достаточно устойчивыми к случайным толчкам.

МакНИИ была разработана и испытана в подземной штольне наиболее удачная конструкция полки заслона с опорами в виде перевернутой трапеции. Опыты показали высокую чувствительность этого заслона как к слабым, так и к сильным взрывам и в то же время достаточную устойчивость к процессам угледобычи.

Сланцевые заслоны, применяемые в отечественных и зарубежных угольных шахтах (Польша, Франции, США, Германии, Великобритании), с момента их внедрения практически не претерпели никаких изменений.

Эффективность сланцевых заслонов в большой степени зависит от качества инертной пыли. Если инертная пыль слежалась или увлажнилась, то ее следует немедленно заменить.

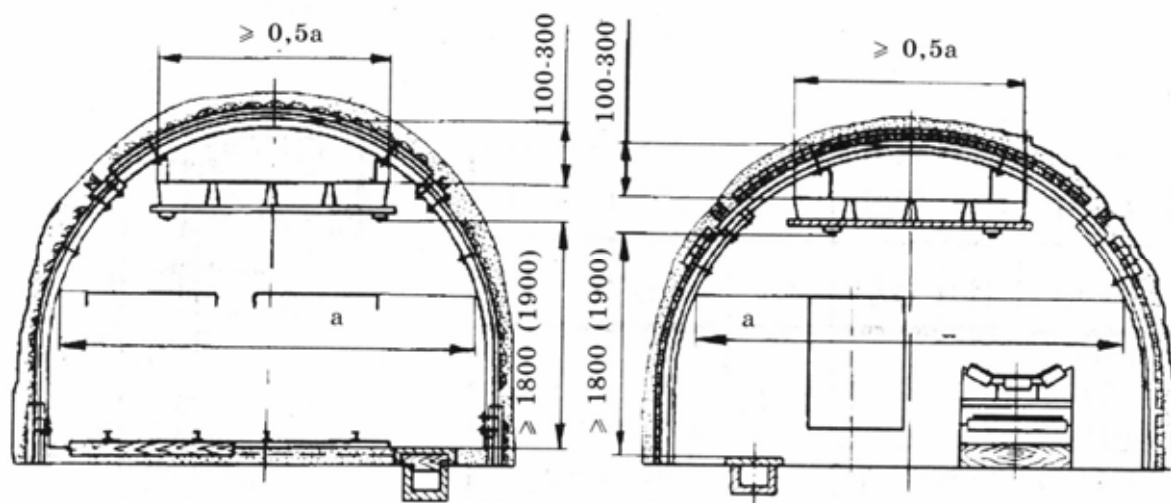
Сланцевые заслоны устанавливаются в сухих местах (без капежа воды), то есть в выработках, подлежащих осланцеванию или побелке.

14.3.2 Водяные заслоны

Первые работы по испытанию водяных заслонов не получили практического применения ввиду того, что шахты не были оснащены водопроводами и их устройство являлось более сложным и трудоемким по сравнению с заслонами из инертной пыли.

Внимание исследователей к вопросу локализации взрывов угольной пыли водяными заслонами было снова обращено в 60-70 годах XX столетия. В Польше были проведены сравнительные испытания водяных и сланцевых заслонов в штреке длиной 400 м и сечением $7,5 \text{ м}^2$ шахты "Барбара". Установлено, что водяные и сланцевые заслоны имеют примерно одинаковую эффективность.

Водяные заслоны устраиваются из ряда наполненных водой легко опрокидываемых или разрушаемых сосудов емкостью не более 80 л (как правило 40..50 л) каждый, устанавливаемых на свободно подвешенных деревянных полках, расположенных поперек выработки у кровли (рис. 14.2). Длина водяного заслона должна быть не менее 30 м.



В свое время МакНИИ были проведены исследования по определению взрывогасящей эффективности водяных заслонов и установлению оптимальных параметров их конструкции. Было разработано 11 конструкций сосудов, которые были подвергнуты испытаниям на стенде, а также в условиях экспериментальных взрывов в металлической штольне и опытной шахте. Стендовые испытания позволили косвенно оценить инерционность сосудов и часть из них исключить из дальнейших испытаний. В опытах применялись сосуды металлические и деревянные, из ударопрочного полистерола, полипропилена и полиэтилена, резиноэбонита и пенополистирола. Анализ результатов проведенных исследований показал, что наиболее эффективными являются со-

суды из пластических масс емкостью 40...50 л. Поэтому в настоящее время сосуды для водяных заслонов изготавливаются из хрупких пластмасс (полистирола, полипропилена, поливинилхлорида, и др.). Параметры сосудов:

высота 200...260 мм;

ширина: нижнего основания – 150...320 мм;

верхнего основания – 300...350 мм;

длина: в нижней части - 580 мм;

в верхней - 640 мм;

масса – 2,6 кг.

Пластмассовые сосуды удобней в эксплуатации, чем сосуды из других материалов. Срок их службы, как правило, составляет более 3-х лет. Они не подвергаются коррозии, удобны в транспортировке и экономически выгодны. Серийное производство пластмассовых сосудов для водяных заслонов было освоено на Горловском ремонтно-механическом заводе.

Испарение воды из сосудов - основной недостаток водяных заслонов, снижающий надежность их применения (требуется частая доливка воды в заслон). С целью устранения этого недостатка к воде в сосудах добавляли хлориды кальция или магния, позволяющие снизить интенсивность испарения влаги в 3...7 раз.

Американские ученые рекомендуют использовать пленкообразующие полимеры.

Однако указанные способы сложны и дороги.

Опытно-промышленная проверка показала достаточно высокую эффективность водяных заслонов из сосудов, оснащенных свободно лежащими и легко сбрасываемыми пластмассовыми крышками.

В последние годы на шахтах получил значительное распространение положительный опыт применения одновременной заливки всех сосудов заслона с помощью специальной водоподающей системы.

Проводились эксперименты по установлению возможностей применения вместо пластмассовых сосудов полиэтиленовых мешков специальной конструкции. Однако положительных результатов не получено.

Область применения – вся сеть горных выработок.

14.4 Схемы установки заслонов в выработках

Пассивные заслоны устанавливаются как на свежей (входящей), так и на исходящей струях воздуха.

Сланцевые заслоны должны устанавливаться на расстоянии не менее 60 м и не более 300 м, а водяные - не менее 75 и не более 250 м от забоев очистных подготовительных выработок, сопряжений штреков с другими выработками.

Заслоны устанавливаются в горизонтальных и наклонных выработках с углом наклона до 18° . При угле наклона более 18° заслоны должны устанавли-

ливаться в смежных выработках на указанном допустимом расстоянии от их сопряжения с изолируемой выработкой.

Подготовительные выработки протяженностью от 40 до 180 м должны защищаться по всей длине рассредоточенными водяными заслонами. При этом в тупиковой части выработки устанавливается не менее 4 рядов сосудов. Первый ряд должен быть установлен не ближе 25 м и не далее 40 м от забоя, второй - на таком же расстоянии от первого, последующие - 3-й и 4-й ряды на расстоянии не менее 5 м и не более 40 м от предыдущего. Расстояние между последующими рядами сосудов (начиная с 5-го) в тупиковой выработке должно быть одинаково и не превышать 40 м.

Подготовительные выработки протяженностью менее 40 м должны изолироваться основными заслонами, устанавливаемыми в смежных выработках на допустимых расстояниях от сопряжений.

Для защиты конвейерных выработок протяженностью свыше 200 м, по которым транспортируется уголь, должны устанавливаться водяные или сланцевые заслоны на всем их протяжении. При этом расстояние между сланцевыми заслонами должно быть не более 300 м, а водяными – 250 м.

Количество инертной пыли или воды на заслон рассчитывается по формуле:

$$Q_{об} = q \times S$$

где $Q_{об}$ - общее количество пыли (кг) или воды (л);

S - сечение выработки в месте установки заслона (m^2);

q - удельный расход пыли ($кг/м^2$) или воды ($л/м^2$).

Количество инертной пыли или воды в заслоне должно определяться из расчёта 400 кг на $1 м^2$ ($л/м^2$) поперечного сечения выработки в свету в месте установки заслона.

Общая масса заслонов (с учетом массы полок, сосудов, опор и т.д.) составляет в среднем 6...7 т.

14.5 Критическая оценка взрывозащитной эффективности пассивных заслонов

Анализ обстоятельств происшедших аварий свидетельствует, что далеко не все взрывы и не во всех условиях представляется возможным локализовать с помощью пассивных заслонов - применение как водяных, так и сланцевых заслонов во многих случаях оказывается не эффективным. Это несомненно снижает надёжность взрывозащиты шахт в целом.

Проанализируем взрывозащитную эффективность пассивных заслонов.

Пассивные заслоны не обеспечивают локализацию взрыва в загазированных выработках или при наличии в них слоевых скоплений метана. Это

объясняется двумя причинами. Во-первых, при создании пламегасящей среды после опрокидывания полок (сосудов) в выработке могут образовываться не защищённые (не зафлегматизированные) каналы, особенно вверху выработки, через которые возможен проскок пламени за пределы заслона. Во-вторых, инертная пыль обладает низкой флегматизирующей эффективностью ($C_{\text{ф}} = 790 \text{ г/м}^3$) и неравномерно распределяется в рудничной атмосфере в месте установки заслона. Эффективность водяных заслонов, кроме того, зависит от степени диспергирования воды (размера капель), которая в свою очередь в значительной степени зависит от параметров воздушной ударной волны. Поэтому даже при удовлетворении требуемого расхода воды и равномерном распределении капель в выработке создаваемая завеса может оказаться не способной флегматизировать метановоздушную смесь. Всё это приводит к нарушению основного условия локализации взрыва в загазированной выработке, т.е. условия $C_{\text{вп}} \geq C_{\text{ф}}$.

Кстати, пассивные заслоны были разработаны и применялись первоначально только для локализации взрывов угольной пыли за пределами загазированной зоны. В то же время за последние годы область применения этих заслонов расширилась: они стали размещаться не только в капитальных горных выработках, в которых загазирования практически исключаются, но и в участковых, в том числе тупиковых и конвейерных выработках, которые при аварийных ситуациях могут быть загазированны или иметь слоевые скопления метана.

Таким образом пассивные заслоны не способны эффективно локализовать взрыв в загазированной выработке из-за:

- образования незафлегматизированных каналов в пламегасящей среде под кровлей выработки;
- низкой флегматизирующей эффективности инертной пыли и водной аэрозоли;
- невыполнения условия $C_{\text{вп}} \geq C_{\text{ф}}$.

Далее. Взрывоподавляющее действие пассивного заслона состоит в создании на пути распространяющегося по выработкам фронта пламени пламегасящей среды, представляющей собой облако диспергированного флегматизатора (воды или инертной пыли), образующегося при воздействии на заслон ударной волны самого взрыва. Поэтому пассивные заслоны должны устанавливаться на значительном строго регламентированном удалении от потенциального очага взрыва. К чему это приводит?

При малых скоростях горения («слабых» взрывах, вспышках), во-первых, интенсивность воздушной волны сжатия может оказаться недостаточной для перевода воды (инертной пыли) во взвешенное состояние и, во-

вторых, к моменту подхода фронта горения к заслону созданная пламегасящая среда уже успеет частично или полностью утратить свои взрывозащитные свойства (для гашения пламени взрыва флегматизатором, расположенным только на стенках выработки, пламегасящей средой протяжённостью равной 20...30 м окажется явно недостаточно).

Так например, при взрыве газо- и пылевоздушной смеси, происшедшего при производстве взрывных работ в феврале 1985 г. в тупиковой выработке в шахте им. Димитрова ПО "Красноармейскуголь", пламя прошло через два сланцевых заслона и только погасло в осланцованной на протяжении 900 м выработке. Заключение комиссии: взрыв был "слабым" и поэтому полки не своевременно и некачественно опрокинулись и пламегасящая среда плохо сформировалась.

При режимах высокоскоростного взрывного горения («сильных» взрывах), когда расстояние между ударным фронтом и фронтом пламени невелико, заслон наоборот срабатывает с опозданием и подавление взрыва не происходит из-за того, что пламегасящая среда не успела полностью перекрыть поперечное сечение выработки.

Таким образом, даже установленный за пределами загазированной зоны с соблюдением всех требований заслон способен выполнить свое назначение только в относительно узком диапазоне скоростей распространения пламени горения, границами которого по данным ряда исследований является 50 и 300 м/с.

Далее. Из-за характерной особенности пассивного заслона, представляющего собой громоздкое стационарное сооружение, занимающее 20...30 м выработки, а также из-за неопределенности месторасположения, многочисленности, рассредоточенности и относительной подвижности некоторых источников воспламенения (распределители, электроприводы конвейеров и перегружателей, совокупности машин и электрооборудования на сопряжении горных выработок и т.д.) далеко не во всех случаях представляется возможным локализовать взрыв.

Таким образом пассивные заслоны как громоздкое стационарное сооружение не всегда способны локализовать взрыв (вспышку) в выработках с многочисленными и относительно подвижными потенциальными источниками воспламенения из-за практических трудностей постоянного поддержания допустимых расстояний их установки.

Следует отметить, что надежность действия заслонов в допустимом диапазоне скоростей горения в значительной степени зависит, кроме того, от качества изготовления и установки полок, соблюдения норм загрузки заслона инертной пылью или заполнения водой и сохранения этих норм в процессе эксплуатации.

В то же время практика (на участке ВТБ шахты постоянно ведется «Книга контроля состояния пылевого режима, часть II – «Заслоны») свидетельствует о повседневном нарушении действующих требований.

Например, взрыв угольной пыли и его распространение по сети горных выработок общей протяженностью примерно 5 км в шахте "Горская" ПО "Первомайскуголь" произошел в связи с невыполнением мероприятий по предупреждению взрывов отложившейся угольной пыли, а также порядка расстановки и эксплуатации водяных заслонов. Отложение угольной пыли по сети горных выработок составляло $65...210 \text{ г/м}^3$, что значительно больше нижнего предела взрываемости пыли равного для данного шахтопласта 38 г/м^3 . Обследование ряда водяных заслонов вблизи аварийного участка показало, что в заслонах недоставало 40...60% сосудов, а установленные сосуды либо не имели воды, либо были заполнены водой на 40...50%.

Наконец, применение пассивных заслонов практически не устраняет все вредные и опасные последствия взрывов и вспышек.

Сам принцип действия пассивных заслонов обуславливает их основной недостаток, состоящий в том, что допускается существенное развитие взрывного процесса до его локализации. Кроме того, ударная волна хотя и ослабляется (давление на фронте ударной волны может снизиться всего на 25...28%), но все же продолжает распространяться по выработке за заслон, поскольку даже при его эффективном срабатывании гасится только пламя взрыва при приведении заслона в действие. Все это приводит к разрушению крепи выработок и находящегося в них оборудования, травмированию горнорабочих.

Кроме того, гашение развитых взрывов приводит к образованию больших количеств оксида углерода, и к разнообразным тепловым воздействиям.

Например, при взрыве на шахте "Чайкино" ПО "Макеевуголь" пострадавшие, находившиеся под водяным заслоном, имели ожоги, характерные ожогам, получающимся при ошпаривании кипятком.

По указанным причинам применение как водяных, так и сланцевых заслонов во многих случаях оказывается не эффективным. Вместе с тем дальнейшее развитие угольной промышленности сопряжено с разработкой более глубоких горизонтов, применением более производительных технологий и механизмов с увеличивающейся их энерговооруженностью, что приводит к повышению интенсивности газо- и пылевыведения в шахтах, а также к росту вероятности появления различных источников воспламенения, т.е. к усилению факторов, способствующих возникновению взрывов. Это обстоятельство вызывает необходимость совершенствования всего комплекса взрывозащиты угольных шахт, в том числе и средств локализации взрывов (вспышек) метана и угольной пыли в направлении резкого снижения количества разви-

тых взрывов газа и угольной пыли в выработках, что позволило бы исключить сопряженные с ними травматизм горнорабочих и материальный ущерб.

В мировой практике такое усовершенствование второй линии взрывозащиты ведется по пути создания принципиально новых средств - так называемых автоматических систем (заслонов), способных локализовать вспышку (взрыв) метана и пыли в загазированной выработке, причем непосредственно в очаге - на начальной стадии развития.

Автоматические системы, в отличие от пассивных заслонов, снабжаются независимым от внешних условий источником энергии, служащим для принудительного диспергирования и подачи в зону воспламенения взрывоподавляющего вещества по сигналу датчика, реагирующего на какое-либо физическое явление, сопровождающее вспышку (взрыв). Такие устройства, как правило, представляют собой постоянно функционирующие системы, срабатывающие при возникновении вспышки (взрыва) у потенциального источника воспламенения. Гашение пламени взрыва осуществляется значительно меньшим (по сравнению с пассивными заслонками) количеством гасящего вещества. Они имеют относительно небольшие габариты и массу, что делает их сравнительно легко перемещаемыми по выработке по мере развития горных работ.

Контрольные вопросы и задания

1. Что такое пассивные заслоны?
2. Изложите принцип действия пассивных заслонов.
3. Назовите пространственные параметры размещения заслонов в выработках.
4. Назовите область и условия применения пассивных заслонов.
5. Изложите классификацию пассивных заслонов.
6. Охарактеризуйте конструкцию сланцевых заслонов.
7. Охарактеризуйте конструкцию водяных заслонов.
8. Какими недостатками обладают пассивные заслоны?
9. Направление совершенствования системы локализации взрывов.

Лекция 15 Автоматическая система локализации вспышек и взрывов метана и угольной пыли в горных выработках

Согласно Правилам безопасности, для предотвращения распространения взрывов угольной пыли по сети горных выработок, забои подготовительных выработок, проводимые по углю или по углю и породе с помощью комбайнов или взрывных работ, а также сопряжения лав со штреками, распределители и другие места скопления электрооборудования в участковых выработках должны защищаться автоматическими системами локализации вспышек метана и угольной пыли в начальной стадии их возникновения.

Сроки их внедрения устанавливаются по согласованию с Госнадзором труда Украины.

Принципиальным отличием автоматических систем от не автоматических является то, что функции взрывозащиты горных выработок выполняют только технические устройства без участия человека и только под его контролем.

Такие устройства представляют собой, как правило, постоянно функционирующие системы, работающие в ждущем режиме.

15.1 Принцип действия автоматических систем защиты объектов от аварии

В общем виде все без исключения автоматические системы включают в себя решение двух задач: обнаружение (регистрация) опасной ситуации и приведение объекта управления (объекта защиты) к нормальному режиму работы (функционирования).

Структурная схема всех без исключения автоматических систем в общем виде состоит из следующих элементов (рис. 15.1):

- объекта управления (защиты), например, горной выработки;
- датчика опасной (критической) ситуации, например, датчика пламени;
- блока включения (регулятора, пускового блока), например, электродетонатора (ЭД);
- исполнительного органа (механизма управления), например, взрывоподавителя.

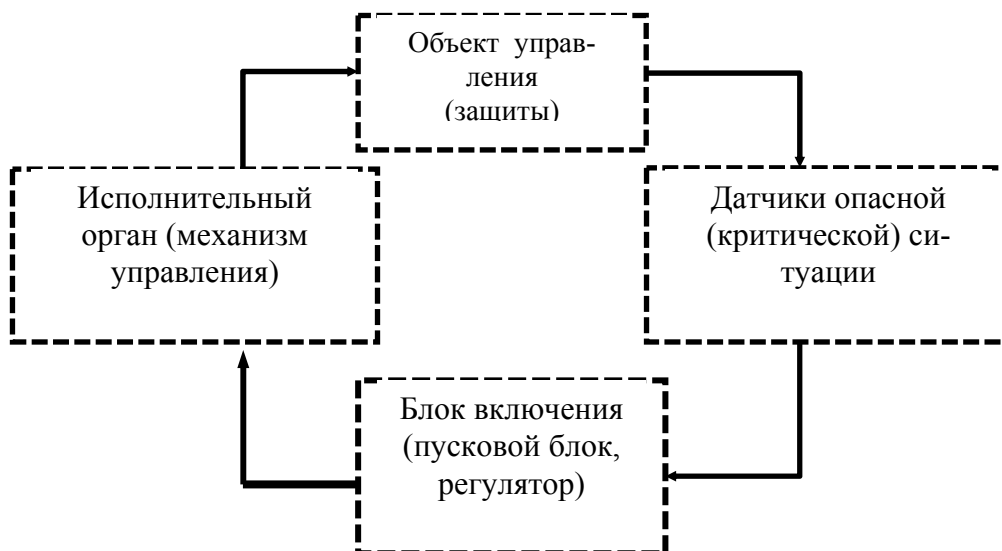


Рис. 15.1 Структурная схема автоматической системы.

Принцип работы любой автоматической системы состоит в следующем. Пусть на объекте управления установлены датчики, которые служат для контроля за работой оборудования. Информация датчиков по каналам связи постоянно передается через преобразователи (например, температуру преобразуют в электрический сигнал) в ЭВМ, в которой имеется программа нормальной работы объекта. В случае отклонения параметров от нормального режима работы ЭВМ вырабатывает сигнал, пропорциональный отклонению, который передается по каналам связи на регулятор. Регулятор с помощью специального механизма приводит объект управления к нормальному режиму.

Исходя из данной структурной схемы построена блок-схема всех разновидностей автоматической системы локализации взрыва в горных выработках (рис.15.2).

Автоматическая система локализации взрывов (вспышек) метана и угольной пыли в горных выработках - это совокупность технических средств, выполняющих в определенной технологической последовательности без содействия человека весь цикл операций по созданию пламегасящей среды с заданными параметрами на пути распространения (высокотемпературных продуктов) внезапно возникшего взрыва.

В принципе пассивные заслоны по своей функциональной работе относятся к автоматической системе, в которой роль датчика опасной ситуации выполняет лобовая поверхность полок (сосудов) с гасящим веществом; роль пускового блока выполняет неустойчивая опора у полок (сосудов), легко разрушаемая их конструкция, а также порошковый или жидкий флегматизатор, а в качестве исполнительного органа выступает весь комплект полок (сосудов) с гасящим веществом. Существенным недостатком пассивных заслонов как автоматической системы является то, что пассивные заслоны обладают



Рис. 15.2 Блок-схема автоматических систем взрывозащиты горных выработок

неустойчивой переменной инерционностью и эффективностью, зависящей при прочих равных условиях от величины динамического действия ударной воздушной волны и степени взрывоопасности защищаемого объекта - горной выработки, т.е. от вида взрывчатой среды.

Для ликвидации этих недостатков в середине 50-х годов XX века впервые в мировой практике была создана (на базе пассивного заслона) автоматическая система локализации взрыва в угольных шахтах - заслон с принудительным срабатыванием (ПЗМ-2 и ПЗМ-3). Особенностью этого заслона является наличие механизма принудительного опрокидывания полок с инертной пылью или сосудов с водой, приводимого в действие от фотоэлектрического датчика пламени. Заслон состоит из шести полок, имея длину 6,0...6,5 м. Расход пламегасящего вещества 50...100 кг/м².

Принцип работы фотоэлектрического датчика основан на использовании инфракрасной (тепловой) области излучения пламени взрыва и преобра-

зовании фотоэлектрического импульса в импульс токов большой силы, который в конечном итоге взрывает электродетонатор в механизме пуска. Механизм пуска расположен на противоположном от забоя торце заслона, чтобы предупредить или, по крайней мере, уменьшить ударные нагрузки на ЭД. Во взведенном состоянии механизм пуска удерживается с помощью шарикового замка. В действие этот механизм приводится взрывом ЭД, помещенного во взрывобезопасном корпусе. Механизмы пуска и опрокидывания устанавливаются на одной рейке с полками или сосудах. Взаимодействуют они с помощью соединительного троса с кулачками, которые при срабатывании ЭД выдергивают опорные столбики, что приводит к опрокидыванию полок с пылью или сосудов с водой. Такими первичными заслонами к концу 1961 г. было оборудовано более 300 наиболее опасных по взрыву газа и угольной пыли тупиковых подготовительных выработок в шахтах Донбасса, Караганды и других бассейнов. Заслоны выпускал Харьковский завод маркшейдерских инструментов. Опыт эксплуатации заслонов типа ПЗМ в шахтах, а также результаты экспериментов показали, что эта конструкция автоматического заслона не исключила основной недостаток пассивных заслонов - они также оказались неспособными локализовать взрыв в загазированных выработках. По этой причине, а также из-за сложности и громоздкости конструкции выпуск заслонов ПЗМ-2 и ПЗМ-3 был прекращен.

Как показали многочисленные исследования, проведенные как в нашей стране, так и за рубежом, локализация взрывов в загазированных выработках может быть осуществлена лишь с помощью автоматических систем с принудительным распылением (диспергированием) высокоэффективных взрывоподавляющих веществ по сигналу датчика, реагирующего на какое-либо физическое явление, сопровождающее вспышку (взрыв), чаще всего, оптического датчика.

Такие системы срабатывают при возникновении воспламенения и осуществляют гашение пламени взрыва в начальной стадии его возникновения (развития). Поэтому автоматические системы с принудительным распылением очень часто называют автоматическими системами взрывоподавления. Гашение пламени взрыва такими системами осуществляется значительно (примерно на порядок) меньшим (по сравнению с пассивными заслонами) количеством гасящего материала. Поэтому они имеют относительно небольшие габариты и массу, что делает их сравнительно легко перемещаемыми по выработке по мере развития горных работ.

15.2 Общая характеристика автоматических систем с принудительным распылением веществ

На этом принципе построены все без исключения разрабатываемые и действующие автоматические системы взрывозащиты.

Конструктивно все они выполнены в виде двух, электрически связанных между собой, самостоятельных блоков:

- датчика пламени (чаще всего оптического: инфракрасного или ультрафиолетового);

- взрывоподавляющего устройства (взрывоподавителя), содержащего пусковой блок (ЭД, ЭВ и пр.) и исполнительный механизм (взрывоподавляющее вещество и средство его распыления).

Известно, что любая вспышка метановоздушной или пылеметановоздушной смеси сопровождается значительным повышением температуры в зоне реакции и в окружающей среде, а также является источником интенсивного электромагнитного, в частности, светового излучения в широком диапазоне частот. Наиболее перспективными с точки зрения обеспечения быстрого действия и надежности автоматических систем оказались оптические датчики, реагирующие на световое излучение ультрафиолетовой или инфракрасной части спектра.

Конструктивно все взрывоподаватели отличаются друг от друга по способу распыления пламягасящего вещества, которое может осуществляться:

- посредством поршня, приводимого в движение энергией сгорания пиротехнического заряда или взрывом заряда ВВ в цилиндрическом контейнере;

- энергией сжатого или сжиженного газа (азота, фреона и др.), размещенного в сосудах (баллонах) высокого давления с порошковым пламягасителем;

- энергией газов, образующихся при сгорании в замкнутом объеме специальных газогенерирующих (пиротехнических) составов (зарядов);

- энергией взрыва заряда ВВ (в большинстве случаев отрезка детонирующего шнура).

В угольных шахтах используются взрывоподаватели, работающие на том или ином из трех последних из перечисленных принципов.

Принцип действия автоматической системы с принудительным распылением веществ состоит в следующем. При возникновении очага воспламенения датчик пламени регистрирует его. Информация от датчика передается через преобразователь и пусковой блок, формирующий взрывной импульс, например, в электродетонатор (электровоспламенитель). Последний срабатывает и или инициирует распыляющий заряд ВВ, или открывает клапан баллона со сжатым газом, или поджигает пиротехнический заряд (в зависимости от конструкции взрывоподавителя), обеспечивая тем самым распыление гасящего вещества.

Первую в мире автоматическую систему (систему пожаротушения) с принудительным распылением вещества построил Петр I в XVIII веке. Она состояла из огнепроводного шнура, игравшего одновременно роль датчика опасной ситуации и пускового блока, порохового заряда и бочки с водой. Огнепроводный шнур загорается от пламени пожара и инициирует взрыв порохового заряда, который распыляет воду и тем самым тушит пожар. В конце XIX века в России изготавливались автоматические порошковые огнетушители «Пожаргас», работавшие на этом принципе.

Автоматическая система подавления взрыва впервые была разработана в 50-х годах XX столетия в Великобритании фирмой «Гравинер» для взрывозащиты топливных баков самолетов. С тех пор разработки таких систем интенсивно ведутся в большинстве высокоразвитых угледобывающих странах. В настоящее время в мире действует около 3,5...4,0 тысяч автоматических систем взрывоподавления, в том числе 2,5 тысяч в США и Канаде, 1,0 тысяча в Великобритании, несколько сотен в других странах мира. Около сотни установленных систем ежегодно срабатывают. Автоматические системы применяются в основном для взрывозащиты замкнутых технологических аппаратов в химической, нефтяной, нефтехимической, нефтеперерабатывающей промышленности.

15.3 Конструктивные особенности зарубежных образцов автоматических систем для угольных шахт

По конструкции взрывоподавителей и их компоновке все действующие автоматические системы взрывозащиты горных выработок можно разделить на три группы (рис.15.3).

К первой группе относятся автоматические системы, построенные из взрывоподавителей болонного (ствольного) типа направленного действия.

Примером первого варианта автоматической системы является стационарный и передвижной заслон BVS, разработанный опытным штреком Вестфальского горнопромышленного товарищества и фирмой Total для защиты горноспасателей от вредных последствий взрывов, которые возможны при ликвидации подземных пожаров. Он содержит 32 баллона объемом 12,3 л

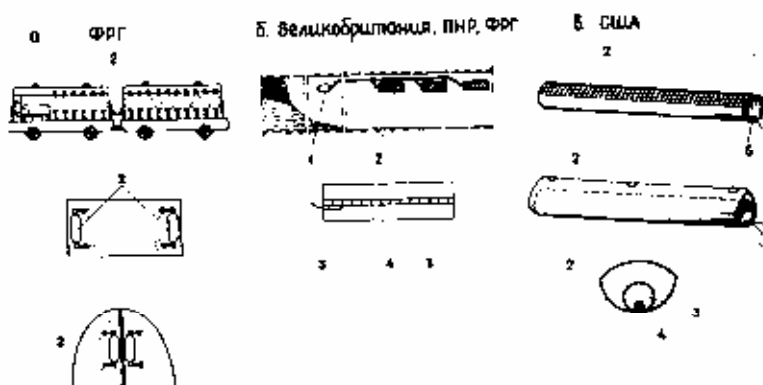


Рис. 15.3. Загальний вид закордонних зразків автоматичних систем локалізації вибуху в гірничих виробках.

1 - датчик полум'я; 2 - вибухоподавлювач; 3 - вибухоподавлюючий порошок; 4 - розпилюючий заряд ВР; 5 - електродетонатор.

каждый, заполненных порошком «трополяр» (на основе фосфата аммония) и азотом под давлением 12МПа.

В стационарном варианте заслона баллоны закреплены на рамах крепи на обеих боках выработки или на центральных ремонтных, а в передвижном - на двух рельсовых платформах массой равной 300 кг и длиной 6 м.

На каждом баллоне (на концах) устроены выпускные головки с веерными распылителями и электродетонаторными быстрооткрываемыми клапанами. Причем в передвижном заслоне верхние распылители направлены к кровле, а нижние на стенки выработки. В стационарном заслоне распылители направлены перпендикулярно к оси выработки и ее стенкам. Заслоны, использующие энергию сжатого газа для распыления порошкового пламегасителя, обладают большой инерционностью (более 100...150 мс); с их помощью можно обеспечить гашение взрывов, распространяющихся со скоростью до 100...150 м/с. Эти недостатки в сочетании с низкой допустимой ударостойкостью сосудов под давлением не позволяют использовать данный тип заслона для подавления взрыва в начальной стадии развития, особенно при производстве взрывных работ.

Ко второй группе относятся автоматические системы, состоящие из отдельных, рассредоточенных вдоль выработки, контейнеров, заполненных гасящим веществом (чаще всего водой, инертной пылью, гидрокарбонатом натрия), внутри которых размещены отрезки ДШ с ЭД, электрически связанные с одним (общим) датчиком пламени. Представителями этой группы являются, например, стационарная автоматическая система шахты «Тремония» (ФРГ) – контейнеры в виде открытых корыт с водой; системы (Польша) шахты «Барбара» и Великобритании - контейнеры в виде пластмассовых цилиндров, заключенных в проволочную сетку, заполненных водой или порошком и др.

В заслонах этой группы, разработанных в Великобритании научно-исследовательским центром по безопасности горных работ и в Польше, контейнер представляет собой пластмассовый цилиндр диаметром 0,15 м и длиной 0,91...1,10 м. Емкость контейнера - до 35 кг. Для предотвращения разрушения такого своеобразного патрона при его транспортировке и в период эксплуатации он заключен в проволочную сетку. Время образования облака при распылении воды равно 50 мс, а порошка - 66 мс; время его поддержания равно 1,0 и 4,2 с соответственно. Расход гасящего вещества - до 18,8 кг/м².

В разработанной в Дортмунде (ФРГ) и успешно применяющейся в угольных шахтах автоматической системе (шахта «Тремония») взрывоподаватель состоит из отдельных (до 60 шт.) открытых корыт с водой, в каждом из которых размещен отрезок детонирующего шнура. Норма расхода воды - 80 л/м². Для дополнительной защиты людей при возможных ложных срабатываниях под сосудах заслона «Тремония» натягивается предохранительная сетка из нержавеющей стали. Эта система стационарная и применяется вот уже с 1980 года вместо основных пассивных заслонов. Тем не менее отмечено, что промышленное применение этих заслонов обнаружило некоторые их уязвимые места, что не позволяет непосредственно использовать эти конструкции для локализации взрыва в начальной стадии развития, особенно при взрывных работах: постоянное движение забоя, стесненность призабойного

участка выработки предъявляет жесткие требования к габаритным размерам и мобильности всей системы, а возможность повреждения отдельных элементов системы в процессе разлета взорванной горной массы требует повышенной механической прочности узлов системы и ударостойкости ее электрической схемы.

К третьей группе относятся системы (заслоны) с одним протяженным (линейным) взрывоподавителем, заполненным порошковым пламегасителем, внутри которого проложен детонирующий шнур с ЭД.

Представителем третьего типа заслонов являются взрывоподавляющие устройства, разработанные в США для подавления взрывов на проходческих комбайнах. Они содержат протяженный (линейный) контейнер диаметром равным около 0,075 м, который представляет собой или закрытый решеткой относительно жесткий корытообразный канал, или закрытую трубку из хрупкого материала, или два симметрично размещенных крыла, соединенных между собой гибко у нижних краев (их верхние перила соединены податливо).

Контейнер размещен вокруг легкоразрушающегося мешка (ампулы), окружающего и защищающего порошковый пламегаситель, как правило, карбонат калия, внутри которого положены несколько нитей детонирующего шнура, скрепленных с электродетонатором, выполняющего роль пускового механизма.

Недостаток этого заслона заключается в том, что распыление пламегасителя осуществляется через решетку или неуправляемо разрушаемую достаточно прочную оболочку, вследствие чего в начальный промежуток времени между отдельными струями образуется незафлегматизированные зоны. Этим, а также недостаточно высокой флегматизирующей эффективностью карбоната калия и неоптимизированными условиями его распыления и объясняется, в основном, установленный в результате проведенных исследований факт, что такого типа заслоны не способны гасить «слабые» взрывы (вспышки) со скоростью распространения пламени менее 30...40 м/с.

Кроме того, системы этой группы представляют опасность для рабочих, находящихся в непосредственной близости от них, в результате разлета кусков от разрушаемых контейнеров в случае ложного срабатывания заслона.

Тем не менее третий тип автоматической системы взрывозащиты следует признать наиболее эффективным решением проблемы создания мобильной, не загромождающей поперечное сечение выработки, передвижной автоматической системы локализации взрыва в начальной стадии развития, в том числе при производстве взрывных работ.

Однако описанные конструкции не позволяют в полной мере разрешить противоречие, заключающееся в том, что система с одной стороны должна быть ударостойкой, а с другой - обладать высоким быстродействием, а также обеспечивать сохранность распыляющего заряда ВВ. Поэтому в МакНИИ для этой цели была разработана автоматическая система «Заслон АВП-1».

15.4 Автоматическая система локализации взрывов при взрывных работах в горных выработках «Заслон АВП-1»

Крупным недостатком способа взрывозащиты горных выработок при взрывных работах с помощью предохранительной среды является то, что появление взрывоопасной ситуации в призабойном участке выработки носит вероятностный характер, а предохранительная среда должна создаваться перед каждым взрыванием. Кроме того, надежность действия профилактических систем (как забойки шпуров, так и предохранительной среды) снижается из-за субъективности и ограниченной возможности контроля за параметрами, обеспечивающими необходимый уровень эффективности. Поэтому наиболее радикальным решением проблемы взрывозащиты горных выработок при взрывных работах является создание автоматических систем подавления (локализации) взрывов в начальной стадии их возникновения.

Сложность создания автоматической системы локализации взрыва в призабойном участке выработки (в начальной стадии развития) при взрывных работах обусловлена рядом специфических условий, характерных для разрушения горных пород взрывом, а именно:

- высокая запыленность призабойной зоны, неопределенность возникновения во времени и пространстве локального очага горения, что значительно усложняет возможность его обнаружения, в особенности на ранних стадиях развития;
- появление вблизи забоя источников высокой температуры с различной интенсивностью и неупорядоченным спектром излучения таких, как продуктов детонации и раскаленных частиц, что вносит сильные помехи при обнаружении очага воспламенения и увеличивает вероятность ложных срабатываний системы;
- постоянное движение забоя и стесненность призабойного пространства, которые предъявляют жесткие требования к габаритным размерам, к мобильности системы;
- сильные динамические воздействия (удары, сотрясения), требующие повышенной прочности всех узлов системы и ударостойкости ее электрической схемы;
- возможность воспламенения метана детонирующим зарядом ВВ со скоростью развития взрыва в призабойном участке от 10...15 до 250...300 м/с, что требует от взрывоподавителя высокого быстродействия.

Таким образом, сложность создания автоматических систем для локализации взрыва в призабойном участке выработки при взрывных работах состоит, в первую очередь, в том, что они, с одной стороны, должны обладать высоким быстродействием, чтобы успеть вовремя создать пламегасящую среду, а с другой стороны, обладать высокой ударостойкостью, размещаясь в зоне отброса взорванной горной массы.

Первой в мировой практике серьезной попыткой разработки такого рода автоматических систем явилась система «Заслон АВП-1», созданная в 1985 г. МакНИИ совместно с ИГД им. А.А. Скочинского и предназначенная для локализации взрывов и вспышек метана и угольной пыли в начальной стадии развития, возникших при взрывных работах в подготовительных выработках угольных шахт.

Область и условия применения системы «Заслон АВП-1» даны во «Временном руководстве по оборудованию и эксплуатации заслона для автоматического взрывоподавления Заслон АВП-1» (Макеевка-Донбасс: Изд. МакНИИ, 1986. – 26 с.)

Система «Заслон АВП-1» состоит из инфракрасного датчика пламени и линейного взрывоподавителя, подвешенного с помощью роликоопор на монорельсовой дороге (рис.15.4).

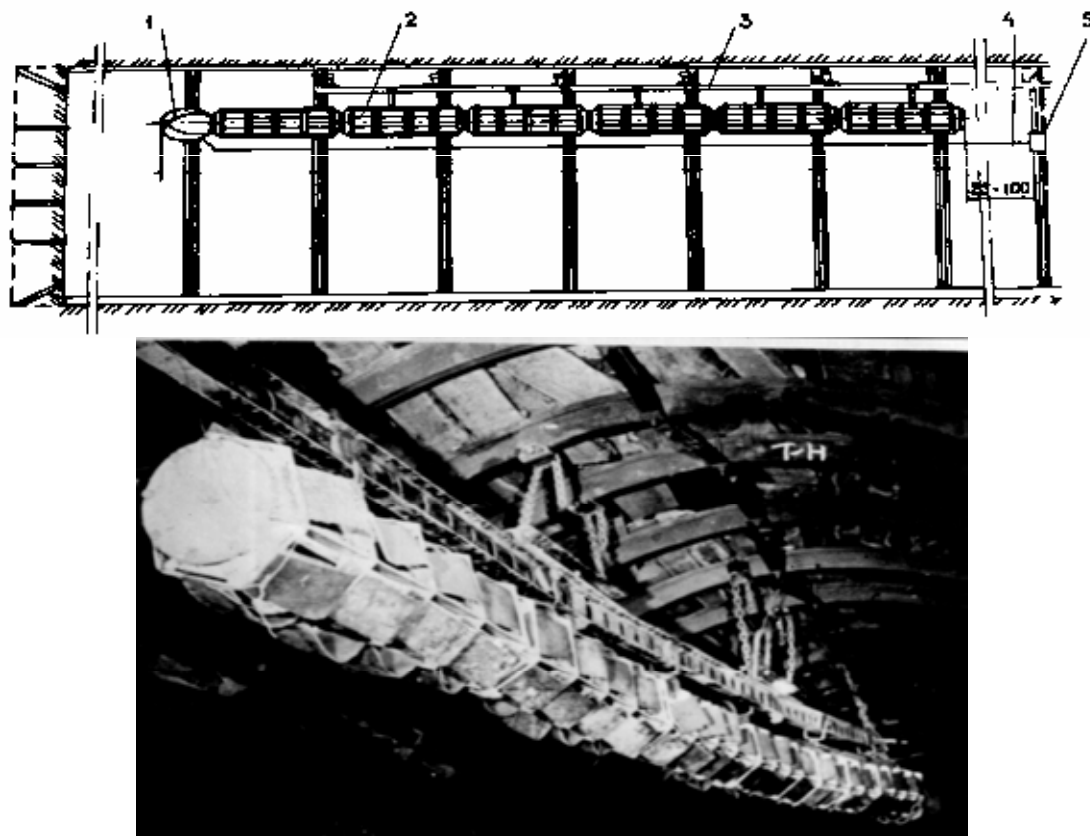


Рис. 15.4. Загальний вигляд автоматичної системи локалізації вибухів в початковій стадії розвитку в гірничих виробках під час вибухових робіт «Заслон АВП-1»

1 - головний блок датчика полум'я; 2 - вибухоподавлювач; 3 - монорейкова дорога; 4 - кабель; 5 - переносний блок датчика полум'я.

Заслон АВП-1 циклического действия: он (датчик пламени) включается только на время производства взрывных работ - в остальное время производственного цикла система бездействует, чтобы не оказывать отрицательного психологического действия на горнорабочих из-за их боязни ложного срабатывания, которое в принципе не исключается.

Взрывоподавитель состоит из состыкованных между собой линейных контейнеров трехжелобчатого профиля, размещенных в призматическом решетчатом корпусе, окна которого закрыты лепестковыми клапанами из резиновой ленты. Все желобчатые полости контейнера заполнены взрывоподавляющим порошком в шланговой упаковке. Вдоль оси контейнера в каждой полости проложено по три нити детонирующего шнура (ДШ) (рис. 15.5).

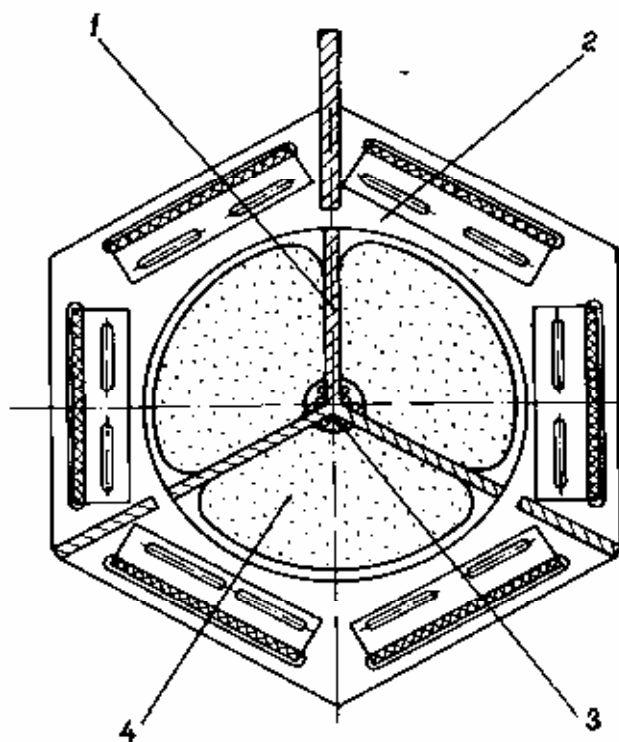


Рис. 15.5. Поперечный переріз вибухоподавлювача системи «Заслон АВП-1»

1 - трьохжолобчатий контейнер; 2 - решітчатий корпус; 3 - розпилюючий заряд ВР (детонуючий шнур); 4 - вибухоподавлюючий порошок.

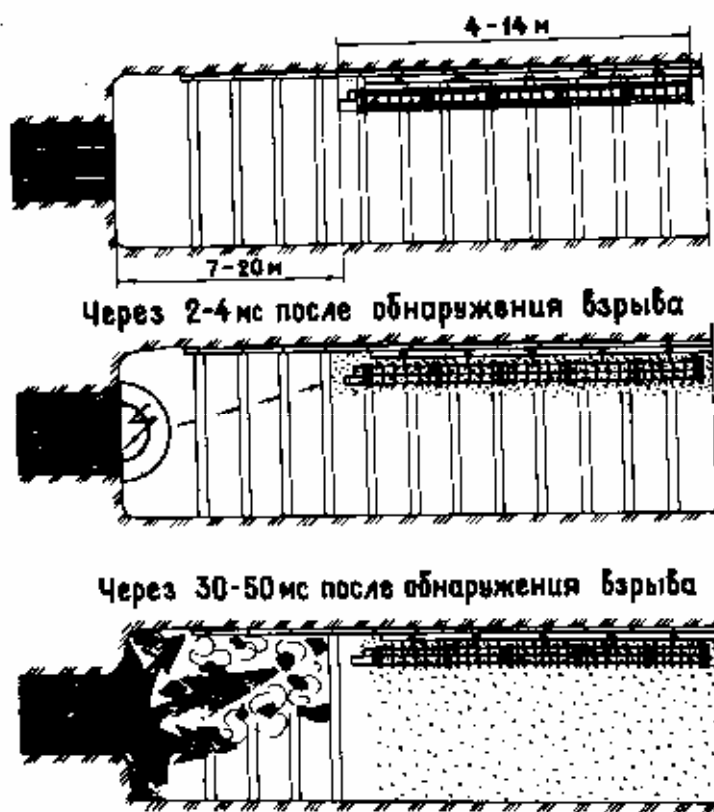
По одной нити ДШ из каждой желобчатой полости вводится в специальную камеру, где они скрепляются с электродетонатором, проводники которого подключаются к выходу датчика пламени. Датчик пламени состоит из блока фотопреобразователя (БФЗ) и переносного блока, осуществляющего включение БФЗ и контроль его исправности (БВКЗ). Перед взрыванием шпуровых зарядов блок БВКЗ соединяется с блоком БФЗ гибким кабелем длиной не менее 100 м. Блок БФЗ смонтирован в головную часть ближайшей к забою секции взрывоподавителя и по своему функциональному назначению обеспечивает обнаружение очага воспламенения горючей смеси на ранней стадии развития. В качестве взрывоподавляющего вещества в заслоне используется флегматизатор с высокими ингибирующими и теплофизическими свойствами на основе гидрокарбоната и карбоната натрия - ПСБ-ТМ.

Техническая характеристика системы «Заслон АВП-1»:

минимальный диаметр регистрируемого очага воспламенения - 0,8 м;

время создания пламегасящей среды - не более 50 мс;
 расход взрывоподавляющего порошка - не более 30 кг/м;
 длина заслона в зависимости от сечения выработки с учетом класса применяемого для взрывных работ ВВ - 4,5...14,5 м (3-10 секций);
 защищенность) (отсутствие срабатываний от
 от ложных) — (источников рудничного освещения и
 срабатываний) (продуктов взрыва шпуровых зарядов.

В рабочем положении система «Заслон АВП-1» устанавливается на расстоянии 7...20 м от забоя выработки. По мере подвигания забоя выработки заслон передвигается. Для этого наращивается монорельсовая дорога, по которой перекачивается взрывоподавляющее устройство с блоком БФЗ датчика пламени. Подавление взрывов и вспышек с помощью системы «Заслон АВП-1» происходит следующим образом (рис.15.6).



15.6. Принцип дії системи «Заслон АВП-1».

При возникновении воспламенения датчик пламени регистрирует его и выдает импульс тока в цепь ЭД. Взрывом последнего инициируется ДШ. Под действием энергии взрыва ДШ разрываются полиэтиленовые шланги, открываются лепестковые клапаны и происходит распыление порошка в атмосфере

выработки в направлении перпендикулярно оси выработки одновременно по всей длине взрывоподавляющего устройства. Через 30...50 мс от начала распыления в выработке создается пламегасящая среда, проходя через которую пламя взрыва гасится. Радиус пламегасящего облака (R_o) в любой заданный момент времени определяется по формуле:

$$R_o = R_{opr} - (R_{opr} - R_{onach}) * e^{-bt}, \quad (15.1)$$

где R_{onach} - радиус разлета продуктов взрыва распыляющего заряда;
 R_{opr} - предельный радиус пламегасящего облака;
 b - безразмерный показатель (определяет скорость достижения облаком своих предельных размеров - скорость замедления);
 t - время, с.

Для системы «Заслон АВП-1», снаряженной детонирующим шнуром и флегматизатором ПСБ-ТМ имеем:

$$\begin{aligned} R_{opr} &= 2,48 N_n^{0.46} \\ R_{onach} &= 83 * 10^{-3} N_n^{0.50}, \\ b &= 66 * N_n^{-1.24} e^{0.18 * N_n}, \end{aligned} \quad (15.4)$$

где N_n - общее количество нитей ДШ в распыляющем заряде.

Например, при $N_n = 9$ (по три нити в каждой желобчатой полости) радиус облака через 30 мс после начала распыления равен 1,8 м, через 50 мс – 2,4 м, предельный радиус облака равен 6,8 м, (экспериментальные значения равны 1,85; 2,35 и 6,5...7,5 м соответственно).

В 1987 г. было изготовлено и поставлено более чем 22 шахтам 13 производственных объединений для эксплуатации 100 комплектов заслона АВП-1. В процессе эксплуатации взрывоподаватель содержал (в зависимости от условий) 6...10 секций общей длиной 8,4...14,5 м, снаряженных 250...430 кг взрывоподавляющего порошка ПСБ-ТМ. Монорельсовая дорога составлялась из 10 секций общей длиной 28 м.

Монтажом заслона АВП-1 занималось 3...7 человек. Время монтажа зависело от количества секций в заслоне, степени подготовки его на поверхности перед спуском в шахту, а также квалификации людей, занятых монтажом, и колебалось в пределах 5...18 ч, т.е. 1...3 смены. В процессе промышленной эксплуатации система «Заслон АВП-1» показала ее способность стабильно функционировать в шахтных условиях, не мешая основному производству, не отвлекая больших сил на ее обслуживание. Система сохраняла свою работоспособность и ударостойкость при эксплуатации в условиях высоких механических нагрузок и давлении, не загромождая при этом, как правило, поперечное сечение выработок.

Ударостойкость системы при сохранении высокого ее быстродействия достигнута, главным образом, оригинальностью конструкции взрывоподавателя, а также благодаря жесткому соединению с ним блока БФЗ датчика пла-

мени (на отдельных шахтах датчик пламени, кроме того, окружается проводочной решеткой).

Сочетание жесткой конструкции взрывоподавителя с гибкостью монорельсовой дороги позволяло, сравнительно легко осуществлять перемещение заслона по мере подвигания забоя выработки даже в условиях ее искривления, сохраняя при этом целостность детонирующего шнура.

Надежность системы «Заслон АВП-1» была подтверждена при ее эксплуатации на шахте «Победа» ПО «Краснодонуголь»: при производстве взрывных работ аммонитом Т-19 по породной подрывке в коренном штреке, проводимого по пласту К6, произошла вспышка метана в опережающей полости, которая затем распространилась в призабойное пространство выработки, где была локализована в результате срабатывания заслона АВП-1, установленного на расстоянии равном около 20 м от забоя.

Оценивая положительный опыт промышленного применения системы нельзя не отметить некоторых недостатков, обусловленных, в первую очередь, производственным и технологическим браком при ее изготовлении, а также несовершенством конструкции, что приводило иногда к самопроизвольному срабатыванию системы. В частности, имевшие место самопроизвольные срабатывания системы происходили, главным образом, из-за некачественного изготовления переносного блока датчика пламени, т.е. при включении системы.

При ликвидации системы (после прекращения проведения выработок) методом принудительного срабатывания, проведенных в штреках, квершлагах и уклонах различных шахт, не было ни одного сбоя. При взрыве детонирующего шнура полиэтиленовые шланги разрывались на мелкие кусочки и полоски, лепестковые клапаны безотказно открывались, в результате чего производилось эффективное распыление во всех направлениях тронобикарбонатного продукта ПСБ-ТМ. В результате достигалось полное перекрытие поперечного сечения выработки пламегасящей средой на длине, несколько превышающей длину заслона. После проветривания выработки ее почва, бока и верх оставались покрытыми плотным слоем белого порошка.

Несанкционированные и принудительные срабатывания системы подтверждали, кроме того, ее высокую безопасность по отношению к человеку: при взрыве 9 нитей ДШ общей длиной 76... 126 м не возникало травмирующих факторов при нахождении людей не только на расстоянии 25 м от взрывоподавителя, но и в непосредственной близости (на расстоянии 0,5 м) от него. Вполне очевидно, что такая безопасность по отношению к человеку в полной мере достигается за счет полного расходования энергии взрыва ДШ на распыление флегматизатора, а также за счет того, что при срабатывании системы не происходит разрушения ее конструкции.

Таким образом, в ходе приемочных испытаний и внедрения установочной серии комплекта системы «Заслон АВП-1» был вскрыт ряд крупных технологических и конструктивных недостатков, до устранения которых массовый выпуск системы временно приостановлен.

15.5 Автоматическая система локализации взрывов по сети горных выработок СЛВА-1

Используя богатый опыт разработки и применения системы “Заслон АВП-1” МакНИИ совместно с проектно-конструкторскими организациями и заводами-изготовителями создал в 1990 г. автоматическую систему локализации взрывов по сети горных выработок СЛВА-1.

Документом, определяющим правила монтажа, наладки СЛВА и технического обслуживания ее во время эксплуатации является «Руководство по эксплуатации системы локализации взрывов автоматической СЛВА» (Донецк: ЦБНТИ, 1992. – 29 с.).

Система СЛВА-1 предназначена для обнаружения и гашения вспышек метана и угольной пыли в начальной стадии их развития по сети горных выработок у потенциальных источников воспламенения. Комплект системы СЛВА-1, позволяющий осуществить взрывозащиту одной шахты (не менее чем у 54 потенциальных источников воспламенения), состоит из:

- 100 инфракрасных датчиков пламени;
- 40 блоков обработки информации;
- 40 блоков питания;
- 100 взрывоподавителей УПВ-30П (90 шт.) и УПВ-15П (10 шт.);
- переносной ЭВМ «Искра - 1256» (на диспетчерском пункте шахты).

Кроме того, для крепления взрывоподавляющего устройства в выработках, когда необходима его частая передвигка вслед за потенциальным источником воспламенения, предусмотрено 10 комплектов монорельсовой дороги.

Взрывоподаватели пушечного типа, т.е. направленного действия. Они одинаковы по конструкции и отличаются друг от друга только габаритными размерами и массой. Взрывоподаватель УПВ-30П вмещает не менее 30 кг, а УПВ-15П не менее 15 кг ингибитора ПВХ-1. Распыление ингибитора осуществляется газообразными продуктами сгорания пиротехнического (газогенерирующего) заряда (рис.15.7).

Информация об исправности датчиков пламени и цепей электровоспламенителей газогенерирующих зарядов постоянно поступает по двухпроводной линии связи на персональную ЭВМ, устанавливаемую на поверхности в помещении диспетчера шахты.

Система СЛВА-1 работает в ждущем режиме - на появление вспышки метана или угольной пыли в зоне обзора датчика. Последний формирует управляющий сигнал, воздействующий на блок энергонакопления, с которого импульсом тока воспламеняется электровоспламенитель и газогенерирующий заряд. В результате быстрого сгорания газогенерирующего заряда образуется большое количество газов, поступающих в контейнер взрывопода-

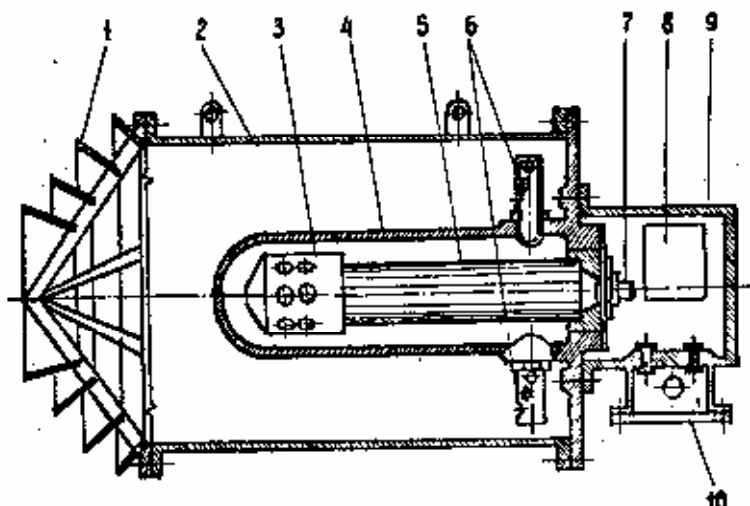


Рис. 15.7. Вибухоподавляюче устаткування ВПУ-30 (ВПУ-15):

- 1 - розпилювальні (запобіжні) ґрати;
- 2 - контейнер (корпус); 3 - розрядна головка; 4 - утихомирювальна камера; 5 - камера згорання; 6 - турбулізуючі патрубки; 7 - піротехнічний електрозапальвач; 8 - блок енергонакопичування; 9 - корпус клемового відділу; 10 - камера кабельних вводів.

теля и выбрасывающих ингибитор в зону очага воспламенения. При этом в объеме выработки создается пламегасящая среда. Скорость истечения ингибитора из контейнеров сравнительно низкая - не более 40 м/с на расстоянии 1 м от выходного сечения. Выброс ингибитора из контейнера обеспечивается на расстояние равном около 15 м.

Удельный расход ингибитора должен быть не менее 0,15 кг на 1 м³ защищаемого объема, который определяется площадью поперечного сечения выработки в свету и расстоянием от потенциального источника до места установки взрывоподавителя.

Система СЛВА-1 испытана в штольне ВНИИГД «Гранит» площадью поперечного сечения 9,5 м² и металлической штольне МакНИИ площадью поперечного сечения 2,5 м² при гашении экспериментальных взрывов метановоздушных и пылевоздушных смесей.

В процессе шахтных испытаний имели место ложные срабатывания системы с разрушением взрывоподавителей. Принимавшиеся решения Минуглепрома Украины о внедрении этой системы постоянно срывались – шахты отказывались от внедрения системы из-за несанкционированных ее срабатываний, несовершенства конструкции, громоздкости и дороговизны. Поэтому системой СЛВА-1 в настоящее время оснащается не шахта в целом, как предполагалось, а только наиболее взрывоопасные участки выработок шахт, опасных по газу или пыли.

Вместе с тем следует выразить серьезные сомнения относительно возможности широкого эффективного применения системы СЛВА-1, по крайней

мере, для взрывозащиты тупиковых выработок при взрывных работах. Эти сомнения базируются на следующих присущих ей недостатках:

- низкая ударостойкость из-за того, что датчики и взрывоподаватели разведены относительно друг друга и имеется соединительный кабель;
- относительно низкое быстродействие, что не позволит своевременно перекрыть поперечное сечение выработки при воспламенении стехиометрической МВС детонирующим зарядом (испытания системы были проведены в смесях с концентрацией метана 6,5..7,0%; в качестве взрывного источника воспламенения использовался взрыв 100...150 г аммонита Т-19);
- сложность передвижки по мере подвигания забоя выработки;
- высокая стоимость (в 2000 г. комплект из двух взрывоподавателей УПВ-30П, каждый из которых снабжен двумя датчиками пламени, стоил 17 тыс. грн.).

Оценивая опыт применения автоматической системы в шахтах необходимо утверждать, что одним из главных направлений в радикальном решении проблемы борьбы с подземными взрывами метана и угольной пыли является разработка систем автоматического взрывоподавления различного функционального назначения. Создание АВП и СЛВА является результатом первых серьезных попыток такого рода. Заложив в конструкции более прогрессивные технические решения отдельных узлов этих систем можно добиться значительного их усовершенствования, сделать их более компактными и удобными для монтажа и применения. Модернизированной системой необходимо оснастить, в первую очередь, тупиковые горные выработки, проводимые буровзрывным способом, особенно длинные тупики, проветривание которых трудно обеспечить.

Контрольные вопросы и задания

1. Дайте определение автоматической системы.
2. Расскажите принцип действия автоматической системы.
3. Изложите структурную схему автоматических систем локализации взрывов.
4. Что выполняет роль регулятора в автоматических системах локализации взрыва в горных выработках ?
5. Чем отличается автоматическая система взрывоподавления от пассивных заслонов?
6. Какие датчики критической ситуации применяются в автоматических системах локализации взрыва в горных выработках?
7. Дайте общую характеристику и укажите основные недостатки первой автоматической системы для угольных шахт – Заслон ПЗМ.
8. Конструктивные особенности зарубежных образцов автоматических систем для угольных шахт.

9. Дайте общую характеристику автоматической системы «Заслон АВП-1».
10. Дайте общую характеристику автоматической системы СЛВА.
11. Каковы перспективы развития автоматических систем локализации взрывов?

ТЕМА 6 ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ СПОСОБЫ И СРЕДСТВА ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ВОСПЛАМЕНЕНИЙ МЕТАНА И УГОЛЬНОЙ ПЫЛИ

Лекция 16 Предупреждение взрывов газопылевоздушных смесей при проведении выработок комбайнами

16.1 Общие положения

Комбайновая технология проведения горных выработок характеризуется (вопреки ожиданиям при ее внедрении) определенной опасностью воспламенения метана и угольной пыли. В последние годы вследствие роста механизации и увеличения скорости резания исполнительных органов горных машин число взрывов и вспышек значительно возросло.

Взрывоопасность комбайновой технологии проведения выработок определяется совокупным действием двух независимых факторов: образование взрывоопасной смеси и возникновение фрикционного искрения в зоне разрушения. Обстоятельства возникновения аварий свидетельствуют о том, что при работе проходческого комбайна возможно образование в локальных областях призабойного пространства взрывчатых концентраций метана и угольной пыли даже при расчетных количествах воздуха, подаваемого к забою посредством проветривания. Средняя относительная частота образования взрывчатых пылеметановоздушных смесей вблизи исполнительного органа проходческого комбайна составляет 0,0112. В отличие от оборудования, при эксплуатации которого фрикционное искрение носит случайный характер, при комбайновой проходке выработок фрикционное искрение является характерной операцией, неотъемлемой частью проходческого цикла. К случайностям можно отнести только свойства разрушаемых пород.

Анализ вспышек и взрывов метана и угольной пыли, происшедших в очистных и подготовительных выработках, показывает, что применение выемочных и проходческих комбайнов действительно связано с опасностью фрикционного искрения, возникающего в результате ударов и трения зубков режущих органов горных машин о крепкие породы (пиритные включения, песчаник, кварцит и др.).

Как вам уже известно из первой лекции, фрикционное искрение занимает второе место среди всех возможных источников воспламенений в угольных шахтах. Например, в бывшем СССР две трети всех воспламенений в очистных забоях угольных шахт происходило от фрикционного искрения. Основным источником воспламенения метана и пыли при работе проходческих комбайнов также является фрикционное искрение. Зарегистрированы также случаи воспламенений метана при работе буровых станков, отбойных

молотков, при посадке лавы, взрывных работах, при эксплуатации оборудования. Вот несколько примеров взрывов, происшедших от фрикционного искрения при ударе (трении) стальных элементов о горную породу.

Из числа последних аварий, происшедших при комбайновой проходке горных выработок, является, взрыв в шахте «Карагайлинская» ПО «Киселевскуголь» 08.02.85. Воспламенение метана произошло от фрикционного искрения, возникшего при трении режущих зубков о твердые включения в угольном пласте. Воспламенение метана перешло во взрыв угольной пыли. Было разрушено 630 м горных выработок.

Крупнейший взрыв в 80-х годах произошел в шахте «Молодогвардейская» ПО «Краснодонуголь» - погибло 50 человек. Источник воспламенения - фрикционное искрение, возникшее при ударе стальной пики отбойного молотка о включение пирита в угольном пласте.

Крупнейшая авария произошла 16 мая 1987 г в шахте «Чайкино» ПО «Макеевуголь», в которой погибло 36 горнорабочих. Причиной взрыва явилось фрикционное искрение в погашенной части 3 сев. вент. штрека при извлечении лебедкой с помощью металлического троса, переброшенного через стальной хомут, арочной металлической крепи (отдельные специалисты, ссылаясь на характер травм пострадавших, высказывали мнение, что воспламенение произошло от фрикционного искрения при работе выемочного комбайна).

2 декабря 1997 г в шахте «Заряновская» в Кузбассе произошел крупнейший за последние годы взрыв метана — погибло 67 человек. Воспламенение метана произошло в очистном забое при работе выемочного комбайна, т.е. от фрикционного искрения.

Таким образом, основным источником воспламенения метана при работе выемочных и проходческих комбайнов, буровых станков, отбойных молотков и эксплуатации оборудования является фрикционное искрение.

Что же такое фрикционное искрение? Каков механизм воспламенения взрывоопасной смеси от этого источника? Каковы способы борьбы с такими авариями на проходческих комбайнах? На все эти вопросы будет дан ответ в данном разделе.

Фрикционные искры - это механически отделенные раскаленные частицы, возникающие в результате динамического контакта двух тел - при скольжении, ударе, трении и т.д.

Воспламеняющие фрикционные искры - это фрикционные искры, тепловая энергия и время действия которых достаточны для воспламенения взрывоопасной смеси метана или пыли с воздухом.

16.2 Механизм воспламенения метановоздушной смеси фрикционными искрами

До настоящего времени механизм поджигания горючих смесей фрикционным искрообразованием остается малоизученным. Вместе с тем известно, что интенсивность и поджигающая способность фрикционных искр зави-

сит от режима трения и соударения двух тел; физико-механических и физико-химических свойств контактирующих поверхностей и целого ряда других факторов. Это означает, что механизм воспламенения смеси такими искрами зависит от их природы.

Воспламеняющие фрикционные искры могут возникать при следующих ситуациях:

а) динамическом контакте определенных материалов со ржавыми стальными изделиями (при эксплуатации оборудования);

б) соударении стали и сплавов, особенно обладающих высокой твердостью и большой шероховатостью, с крупнозернистыми крепкими ($f = 10...12$) кварцесодержащими породами, чаще всего песчаниками;

в) разрушении до пылевидной фракции пород, содержащих 35% и более серы, в частности, пирита, находящегося в угольных пластах в виде линзообразных включений.

Анализ вспышек метана, происшедших от фрикционного искрения, показывает, что в 55% случаев причиной было трение зубков о пирит, находящийся в угольных пластах в виде включений, и в 15% случаев – резание песчаников. Несколько воспламенений было вызвано ударами стальных инструментов о крепкий глинистый сланец. Известен также взрыв метана от фрикционного искрения при трении зубков об известняк.

Такая ситуация согласуется с минералогическим составом пустых пород. Следовательно, воспламенение метана в шахтах наиболее вероятно при трении зубков о пирит и кварцесодержащий крепкий песчаник. В целом по угольным бассейнам бывшего СССР количество шахтопластов с боковыми породами, способными при трении образовывать взрывоопасное искрение, около 19%, причем 38% всех вмещающих пород составляют песчаники; угольные пласты, как правило, содержат включения пирита, встречающегося в виде линз и конкреций различных размеров, и другие твердые включения, распределение которых в пласте носит случайный характер.

Рассмотрим механизмы воспламенения взрывоопасной смеси при каждой из перечисленных ситуаций.

При эксплуатации оборудования воспламеняющие фрикционные искры образуются только при динамическом контакте определенных материалов со ржавыми стальными изделиями, в результате чего возникают экзотермические реакции между материалом и окислами железа, что и является причиной воспламенения газовой смеси.

Поэтому все вновь разрабатываемые изделия, оборудования должны подвергаться испытаниям на фрикционную искробезопасность.

Испытания материалов на фрикционную искробезопасность производят путем соударения (трения) образца материала со ржавой стальной плитой во взрывоопасной смеси метана с воздухом. Материалы, которые выдерживают испытания на устойчивость против возникновения воспламеняющего фрикционного искрения, считаются безопасными материалами (сталь, медь, бронза и др.), а материалы, которые не выдерживают эти испытания, считаются опасными материалами (в основном алюминий и его легкие сплавы).

Таким образом, при работе оборудования воспламеняющие фрикционные искры могут возникнуть при ударе (трении) алюминия и его сплавов о ржавую сталь. В то же время при скольжении или ударе о ржавую сталь (или между собой) стали, меди, бронзы опасные искры не образуются.

Рассмотрим механизм воспламенения пылегазовых смесей при взаимодействии стальных предметов с горными породами.

При трении зубков (резцов) о кварц, песчаник, гранит и другие крупнозернистые крепкие ($f = 10...12$) породы на трущейся поверхности остаются раскаленные тонкодисперсные частицы металла в виде ярко-белого следа длиной 8...10 мм, светящегося в течении 5 мс, с температурой 1200...1250⁰С, который и является источником воспламенения метановоздушной смеси. Наиболее высокой воспламеняющей способностью обладают искры, которые получаются от трения резцов о кварц и крупнозернистый песчаник крепостью по шкала проф. М.М. Протоdjаконова $f = 10...12$. При трении резцов о мелкозернистый песчаник возникает много тонкодисперсной пыли, которая флегматизирует взрывчатую среду, в результате чего воспламенение ее не происходит (исследования показали, что при $f \leq 6$ воспламенение метана не происходит, при $f = 8...9$ вероятность воспламенения составляет 0,16).

Кроме того, установлено, что воспламенение метана происходит при трении новых резцов, то есть когда изнашивается только вставка из твердого сплава, а стальная державка еще не приходит в соприкосновение с породой. При этом твердый сплав при трении и соударении вследствие износостойкости оставляет на поверхности породы раскаленные тонкодисперсные частицы в виде ярко-белого следа, температура которого близка к температуре плавления сплава (1300...1350⁰С). В процессе износа твердого сплава вслед за ним происходит трение стальной державки, в результате чего разрушается высокотемпературный след и тем самым улучшаются условия для его охлаждения до температуры, не воспламеняющей метан.

При трении зубков режущего органа о пирит, источником воспламенения пылегазовых смесей является воспламенившееся от фрикционного искрения облако сульфидной пыли при длине следа зубка не менее 10 см. По данным скоростной киносъемки время горения облака пиритной пыли объемом 15...20 дм³ составляет 200...300 мс. Таким образом при относительно низком значении минимальной температуры воспламенения аэровзвеси пирита (350...400⁰С) вспышка облака пиритной пыли по продолжительности, размерам нагретой поверхности и развиваемой температуре горения (свыше 1000⁰С) может рассматриваться как вторичный источник с более мощным поджигающим действием, чем само фрикционное искрение.

Предупреждение взрывов газопылевоздушных смесей при комбайновой технологии проведения горных выработок ведется одновременно по двум направлениям:

- предупреждение воспламенений газо-пылевоздушных смесей;
- локализация (подавление) вспышек в начальной стадии их возникновения.

16.3 Способы и средства предупреждения воспламенений газопылевоздушных смесей при работе проходческих комбайнов

Как вам уже известно, при взрывных работах предварительная инертизация атмосферы призабойного пространства технически относительно легко осуществляется, т.к. может производиться по отработанной технологии: путем разового распыления воды или порошкообразных флегматизаторов перед каждым циклом взрывания шпуровых зарядов. В отличие от взрывных работ проведение выработок проходческими комбайнами представляет собой непрерывный и длительный процесс, при котором невозможно предугадать момент возникновения источника воспламенения и с опережением создать предохранительную среду.

Изложенное свидетельствует, что создание в выработках, проводимых комбайнами, условий для безопасного труда представляет собой сложную инженерную задачу.

Поэтому в настоящее время практически нет простых эффективных технических решений для предупреждения или подавления очагов воспламенения метана и угольной пыли при работе проходческих комбайнов. Существующий ассортимент технических способов и средств указанного назначения в течение многих лет претерпел изменения, пополнился новыми, более совершенными разработками.

Для предупреждения воспламенений метана и угольной пыли при работе проходческих комбайнов разработаны и применяются:

- способы, основанные на применении диспергированной воды;
- пылеулавливание;
- предварительная обработка угольного массива водными растворами флегматизаторов.

Рассмотрим эти технические решения.

16.3.1 Способы, основанные на применении диспергированной воды

Наиболее простым средством предупреждения воспламенений метана и угольной пыли при комбайновой технологии является применение диспергированной воды.

В настоящее время известно три способа реализации этого направления взрывозащиты:

- орошение;
- создание водовоздушной завесы;
- создание предохранительной водяной завесы в зоне разрушения угля (внутреннее орошение).

Рассмотрим эти направления.

16.3.1.1 Орошение

Старейшим способом взрывозащиты горных выработок, проводимых комбайнами, является орошение (рис. 16.1).

Орошение при работе проходческих комбайнов производят с помощью оросительных устройств различной конструкции, которые состоят из форсунок, разводки воды, средств блокировки автоматизации орошения, фильтра для очистки воды от грубых взвесей и манометра. Форсунки устанавливают на стреле комбайна в 0,5...1,0 м от торцевой части коронки. Оросительное устройство обеспечивает орошение мест разрушения угля исполнительным органом и перегрузки угля с ленточного перегружателя в вагонетку, а также создание водяной завесы, препятствующей распространению пылевого облака. Удельный расход воды на орошение должен составлять 30...50 л/т, давление воды у форсунок - 1,5...2,5 МПа. Недостатком этого способа является то, что создаваемая при орошении водяная завеса предназначена только для пылеподавления и по своим параметрам не способна флегматизировать метано-воздушную смесь и таким образом не предотвращает воспламенения метана.

Системой орошения комплектуются все выпускаемые комбайны.

16.3.1.2 Водовоздушная завеса

Система орошения с помощью водовоздушных эжекторов рекомендуется для взрывозащиты на проходческих комбайнах, если вероятность встречи крепких песчаников весьма низкая (0,01). При работе каждого эжектора в зону резания, кроме воды, дополнительно поступает до 10...15 м³/мин воздуха, что не только нейтрализует источник воспламенения, но и существенно снижает, а в большинстве случаев исключает возможность образования в этой зоне взрывчатой концентрации метана.

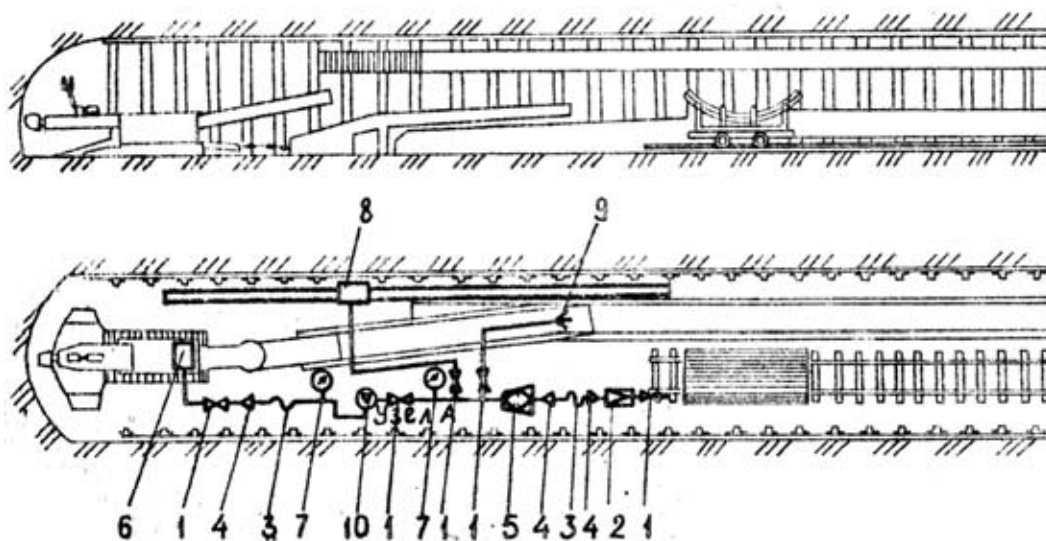
Эжекторы обычно располагают на расстоянии равном около 1,2 м от режущей коронки. Поэтому водовоздушная струя такого эжектора может охватить сегмент коронки с дугой порядка 70...80°. Для того, чтобы режущая коронка со всех сторон находилась в водовоздушной струе, необходимо не менее пяти эжекторов, расположенных на рабочем органе комбайна.

16.3.1.3 Предохранительная водяная завеса в зоне разрушения угля

В 80-е годы XX столетия МакНИИ разработал более совершенный способ, отличающийся от традиционного орошения тем, что водяная завеса формируется не в призабойном пространстве, а непосредственно в зоне разрушения угля.

Это достигается с применением системы орошения с подачей жидкости на режущий инструмент. Она встроена в конструкцию комбайна 4ПП-2 (ороситель впереди резца) и 4ПП-2м (ороситель сзади резца).

Технологическая схема обеспыливания в забое с комбайновой проходкой



Узел А

(вариант без насосной установки)



Рис. 16.1 Технологическая схема обеспыливания в забое с комбайновой проходкой

Оборудование: 1 – вентиль фланцевый; 2 – клапан редукционный; 3 – рукав напорный для жидкости; 4 – переходник 32/50; 5 – фильтр штрековый; 6 – оросительное устройство комбайна; 7 – манометр; 8 – пылеуловитель; 9 – форсунка; 10 – насосная установка

Сущность способа состоит в том, что диспергированную под давлением не ниже 1,2 МПа воду подают непосредственно в зону резания (под резец) с расходом не менее 2,5 л/мин на каждый зубок (резец). В результате этого высокотемпературный след из раскаленных металлических частиц разрушается.

Такая завеса создается с помощью конусных форсунок, устанавливаемых (по одной сбоку или сзади каждого резца) на расстоянии 60...200 мм от зубка так, чтобы ось факела была направлена в середину его режущей кромки. Радиус укрытия следа зубка (определяется углом раствора факела форсунки и ее удалением от зубка) должен не менее чем в 3 раза превышать ширину режущей части зубка. Причем, зону орошения необходимо распространять на расстояние 60...80 мм сзади резца и на 5...10 мм спереди от его режущей кромки. Общий расход воды (на комбайн) должен быть в пределах 70...90 л/мин (21 ороситель). Диаметр выходного отверстия форсунки колеблется в пределах 0,8...2,0 мм.

Эксперименты, проведенные на специальном стенде МакНИИ, показали, что при подаче в зону трения резцов о песчаник воды в количестве 2,5 л/мин на один зубок предотвращается воспламенение метана от фрикционных искр. При этом зона орошения распространялась сзади резца на расстояние 55...60 мм, а спереди - на 5...10 мм от его режущей кромки. При уменьшенной зоне орошения, но с увеличенной плотностью факела без изменения расхода воды также обеспечивается надежное предотвращение вспышек метана при трении резцов о крепкие породы. Такая завеса принципиально отличается от общеизвестного орошения, применяющегося на комбайнах. Если классическое орошение предназначено только для пылеподавления, то в случае применения предохранительных завес происходит флегматизация метановоздушной смеси и взвешенного пылевого облака, в т.ч. пиритного, а также снижение температуры раскаленного следа резца на породе до безопасных пределов за счет нагревания и испарения воды.

Система орошения разработана МакНИИ совместно с ЦНИИподземмашем. Выпускается серийно Ясиноватским машиностроительным заводом.

Подача воды под резцы (внутреннее орошение) повысило эффективность орошения с 85 до 95%, в четыре раза снизила запыленность воздуха и предотвратила возможность воспламенения метана фрикционными искрениями.

Комбайны комплектуются системами создания предохранительной и водовоздушной завесы только по требованию заказчика. В настоящее время из-за дороговизны комбайны поставляются шахтам без этих систем - их не заказывают.

16.3.2 Пылеулавливание

Пылеулавливание при работе проходческих комбайнов осуществляют установками различной конструкции, поставляемых в комплекте с комбайном.

Комбайновая пылеулавливающая установка состоит из вентилятора специального типа, трубы с диффузором для всасывания запыленного воздуха, нагнетательной трубы для отвода очищенного воздуха и пылеуловителя (шламоотделителя). Улавливание пыли в установке осуществляется с помощью воды, подаваемой на рабочее колесо вентилятора. Удельный расход во-

ды должен составлять 0,1...0,2 л/м³ очищаемого воздуха. Очищенный воздух отводится в сторону устья выработки по вентиляционным трубам (на расстояние 5...6 м от места перегрузки угля с перегружателя).

Максимальная эффективность обеспыливания воздуха достигается при отношении количества отсасываемого воздуха к количеству, нагнетаемого с помощью ВМП, равном 1,0...1,3.

Трубопроводы для отвода запыленного воздуха должны изготавливаться из металла или прорезиненной ткани (синтетических материалов) с поверхностным сопротивлением не более 10⁶ ом·см.

Эксплуатация пылеулавливающих установок в случае прекращения подачи воды на лопатки рабочего колеса вентилятора не допускается. Все металлические элементы трубопровода для отсоса запыленного воздуха должны быть заземлены.

Системой пылеулавливания комбайны комплектуются только по требованию заказчика.

В настоящее время пылеулавливание на проходческих комбайнах (ПК-200; 4ПП-2М, 4ПП-2, ГПК-2, КП-1, ГПКС) осуществляется путем пылеотсоса с применением автономных (не связанных с конструкцией комбайна) пылеулавливающих установок (агрегатов) АПУ-425 и АПУ-265 с гибкими армированными рукавами (пылеулавливающий агрегат на почве выработки) или схем с нагнетательно-всасывающим проветриванием (с подвесной пылеулавливающей установкой).

16.3.3 Предварительная обработка угольного массива водными растворами флегматизаторов

Анализ различных вариантов и возможностей использования взрывозащитных свойств флегматизаторов в этих условиях показал, что технически сравнительно просто реализуется схема предварительной обработки угольного массива водными растворами флегматизаторов. Таким образом, сущность способа состоит в предварительном нагнетании (под давлением порядка 17...20 МПа) в угольный массив через скважины или шпуров (длиной порядка 4м) водного раствора флегматизатора. В качестве флегматизатора рекомендуется использовать композицию из хлористого кальция и карбомида в массовом соотношении 3:1 с концентрацией в растворе не менее 50%. Такая композиция играет одновременно роль как флегматизатора метанопылевоздушной смеси, так и связывающей добавки.

Способ разработан Карагандинским отделением ВостНИИ (КО ВостНИИ).

Идея способа заключается в увеличении с помощью флегматизатора НПВ угольной пыли в том числе с присутствием 2...3% метана с таким расчетом, чтобы его значение превышало предельный уровень запыленности шахтной атмосферы при работе комбайнов.

Процесс флегматизации атмосферы призабойного пространства при этой схеме взрывозащите происходит одновременно с пылеобразованием в

результате разрушения угольного массива исполнительным органом комбайна. При этом увеличение скорости подвигания забоя, повышение газовыделения и запыленности, связанное с более интенсивным разрушением угля, повлечет за собой и соответствующее повышение концентрации флегматизатора в защищаемом пространстве, т.е. появляется возможность реализации принципа самонастройки уровня флегматизации в зависимости от степени взрывчатости образовавшейся среды. Обработка угольного массива этим раствором осуществляется по технологии предварительного увлажнения угольных пластов, т.е. путем нагнетания раствора в режиме высоко- или низконапорного увлажнения, гидроотжима или в других режимах через шпурь или скважину. Для уменьшения дополнительных затрат труда обработка массива флегматизатором может быть произведена заблаговременно через разведочные скважины, через скважины или шпурь, предназначенные для определения склонности пласта к внезапным выбросам угля, газа и т.д.

В процессе промышленных испытаний приготовленный раствор через герметизаторы ГАС-45 нагнетался в опережающие скважины и шпурь длиной 4 м установкой УНВ-1 (насос ГБ-351) при рабочем давлении 17...20 МПа и удельном расходе воды 19,8...21,5 дм³/т. Общий расход флегматизатора составляет 12,1...14,8 кг/т, что в пересчете на сухое вещество соответствует концентрации 1,2...1,5%.

Данный способ обработки угля водными растворами флегматизатора имеет существенные преимущества по сравнению с механическими смесями флегметизаторов с угольной пылью. Изучение под микроскопом высушенных препаратов флегматизированной этим способом угольной пыли показало, что максимальный размер частиц введенной добавки значительно меньше 70 мкм. В шахтах при разрушении обработанного раствором массива флегматизатор будет находиться в виде тонких пленок раствора на поверхности угольных частиц.

В присутствии влаги эффект флегматизации в этом случае должен быть выше, чем в опытах с обезвоженной смесью.

Обработка флегматизатором угольной пыли способствует также ее интенсивному увлажнению и связыванию. Увлажнение пыли при нахождении ее в атмосфере может достигать величины, сопоставимой с регламентируемой нормой для обеспечения пылевзрывобезопасного состояния выработки (17% и 12%). Последующее высушивание (в атмосфере с влажностью менее 70%) приводит к окоркованию пылевого отложения, в результате чего пыль практически теряет возможность к переходу во взвешенное состояние. Испытания на лабораторной установке пылевых проб, отобранных в процессе испытания способа на шахтах, было установлено, что НПВ обработанной флегматизатором пыли увеличивается с 48 до 63 г/м³, т.е. на 31,2%, а в тройной смеси при объемных долях метана 2% - увеличивается с 20 до 29 г/м³, т.е. на 45%. В то же время замеры показывают (данные ВостНИИ), что концентрация пыли в призабойном пространстве при работе проходческого комбайна не превышает 20...25 г/м³, очистного - 50...70 г/м³, т.е. меньше нового значения НПВ.

Таким образом, совместные действия композиции флегматизатора и связывающей добавки позволяет существенно повысить уровень пылевзрывобезопасности выработки в течение всего времени ее проведения. Вместе с тем способ проведения предварительной обработки пластов флегматизаторами нашел практическое применение только в Карагандинском угольном бассейне, где 80 пластов угля имеют большую суммарную мощность 110 м, в т.ч. 30 пластов рабочей мощностью 0,6...8,0 м.

В Донбассе этот способ не нашел практического применения из-за низкой эффективности и неэкономичности, так как здесь мощность большинства пластов от 0,6 до 1,2 м, изредка до 2,5 м.

16.4 Автоматическая система взрывоподавления на проходческих комбайнах

Как показывает отечественный и зарубежный опыт, способы применения диспергированной воды, в том числе орошения, на проходческих комбайнах для борьбы с пылеобразованием и для предупреждения вспышек метана и угольной пыли от фрикционного искрения полностью не устраняют опасность воспламенения метана и угольной пыли, в основном, из-за засорения форсунок. В связи с этим, в течение последних лет в ряде угледобывающих странах мира предпринимаются настойчивые попытки создания систем автоматической защиты от взрывов пылегазовоздушных смесей при работе исполнительного органа горнопроходческого комбайна. К настоящему времени разработан ряд конструкций автоматических устройств (заслонов) взрывоподавления на проходческих комбайнах в Германии, США, и Украине. Основные элементы и узлы системы автоматического взрывоподавления размещены на рабочем органе (стреле) комбайна и обращены в сторону забоя. Все системы автоматического взрывоподавления состоят из оптического датчика пламени (с ИК и УФ приемником), электронного блока обработки сигналов и взрывоподавителя.

Одной из наиболее завершенных разработок такого рода является система автоматического взрывоподавления, созданная на базе автоматического заслона BVS (Германия) (см. рис. 15.3а). Система состоит из датчика обнаружения пламени, электронного блока обработки сигналов и взрывоподавительного устройства. Датчик пламени воспринимает излучение в ультрафиолетовой части спектра. Селективность его действия позволяет устранять ложные срабатывания системы от искусственного освещения (головные светильники, фары комбайна) или при искрении в зоне работы исполнительного органа. Взрывоподавительное устройство содержит баллоны вместимостью 5,0...12,3 л, заполненные порошковым флегметизатором «трополяр» (на основе фосфата аммония) и сжатым азотом при давлении 12 МПа. Каждый баллон с двух сторон оснащен вентилями, которые управляются взрывом электродетонаторов от импульса тока, вырабатываемого электронным блоком при засветке датчика пламенем горения. Выброс порошка через специальные распылители в атмосферу выработки начинается по истечении 5...10

мс после обнаружения воспламенения и завершается в зависимости от вместимости баллонов через 600...900 мс. Основные элементы и узлы системы автоматического взрывоподавления размещены на стреле комбайна. Два датчика пламени установлены по обе стороны стрелы и обращены в сторону забоя. Для удаления оседающей пыли с поверхности светоприемных окон датчиков пламени предусмотрено непрерывное орошение. Эффективность взрывоподавляющего действия системы оценивалась в экспериментальной штольне площадью поперечного сечения 20 м^2 и длиной 20 м, где был установлен проходческий комбайн «Роботер». Рабочий орган комбайна размещался в пределах отгороженной полиэтиленовой пленкой камеры объемом от 30 до 70 м^3 с метановоздушной смесью, которая поджигалась электровоспламенителем в пространстве между забоем и режущей головкой комбайна. Как было установлено, для надежного подавления воспламенения метановоздушной смеси достаточно 6 баллонов, содержащих по 8 кг порошкового флегматизатора. При подавлении горения метана кратковременное повышение температуры у рабочего места машиниста комбайна достигало 60°C .

Второй по степени завершенности является системы, разработанные горным бюро США (см. рис. 15.3 б). Особенностью этих систем является применение линейных взрывоподавителей, работающих на принципе взрывного распыления взрывоподавляющих порошков. Известны две конструкции. В одной конструкции взрывоподавляющее устройство состоит из прочной корытообразной оболочки с предохранительной сеткой, в которую вмонтирована капсула с порошковым огнетушащим составом. Внутри капсулы помещен ДШ с ЭД, при взрыве которого капсула разрушается и порошок распыляется через предохранительную сетку. Вогнутая цилиндрическая поверхность оболочки обеспечивает кумулятивный эффект, усиливая направленное действие заряда. Предохранительная сетка исключает возможность разлета частиц разрушаемой капсулы. При другом варианте наружная оболочка выполнена в виде двух створок, скрепленных затворами. В момент срабатывания заряда затворы разрушаются, створки раскрываются и взрывоподавляющий состав под действием газообразных продуктов взрыва и ударной волны распыляется по призабойному пространству.

МакНИИ в 1988 г на базе системы СЛВА-1 разработано устройство автоматического взрывоподавления АВПК-1 на проходческих комбайнах с рабочим органом избирательного действия. Система АВПК-1 состоит из двух или трех в зависимости от сечения выработки взрывоподавляющих устройств, двух датчиков пламени с фотоприемником ИК-излучения, блока обработки информации. Взрывоподавляющее устройство представляет собой цилиндрический контейнер, закрытый решеткой. В контейнере размещен порошковый ингибитор ПВХ-1 и газогенерирующий заряд с электровоспламенителем. Последний электрически связан с датчиком пламени. Таким образом, выброс из контейнера и распыление ингибитора осуществляется продуктами сгорания пирозаряда. Датчики пламени устанавливаются с обеих сторон рабочего органа комбайна таким образом, чтобы в их поле зрения находилась вся площадь обрабатываемого забоя выработки. Взрывоподавители

устанавливаются в одной плоскости несколько сзади датчиков. Каждое взрывоподавляющее устройство имеет 5 кг ингибитора. Время создания пламегасящей среды - 150 мс. Испытания экспериментального образца устройства АВПК-1 показали высокую эффективность гашения очагов воспламенения пылеметановоздушных смесей при удельном расходе ингибитора $0,1 \text{ кг/м}^3$ защищаемого объема.

В заключении следует отметить, что до настоящего времени в мировой практике нет разработанных промышленных образцов автоматических устройств взрывоподавления на выемочных и проходческих комбайнах. Это объясняется тем, что обеспечить высокую надежность устройств автоматической взрывозащиты в широком диапазоне частот и амплитуд, ударов кусками отбитой горной массы, высокой запыленности воздуха довольно сложно.

Надежная взрывозащита призабойного пространства выработки при комбайновой технологии проходки может быть обеспечена при одновременном выполнении мероприятий как по предупреждению, так и локализации взрывов.

Контрольные вопросы и задания

1. Приведите пример воспламенений метана и угольной пыли при работе комбайнов.
2. Перечислите источники воспламенения при комбайновой технологии проведения выработок.
3. Что такое фрикционные искры?
4. Какие фрикционные искры называют воспламеняющими?
5. Какие материалы считают опасными по фрикционной искробезопасности?
6. Каков механизм воспламенения МВС при трении зубков исполнительного органа комбайна о пыльные включения в пласте?
7. Каков механизм возникновения воспламенения МВС при трении зубков исполнительного органа комбайна о крепкий песчаник?
8. Каков механизм воспламенения МВС при трении алюминия и его легких сплавов о ржавую сталь?
9. Перечислите способы предупреждения воспламенений газопылевоздушных смесей при работе проходческих комбайнов путем диспергирования воды.
10. Охарактеризуйте сущность способа предупреждения взрывов путем предварительного увлажнения угольного пласта.
11. Дайте общую характеристику автоматических систем для проходческих комбайнов.

Лекция 17 Системы взрывозащиты вспомогательных технологических процессов и операций, подземных и наземных сооружений

17.1 Предупреждение воспламенений метановоздушных смесей и взрыва электродетонаторов от зарядов статического электричества

Среди источников воспламенения взрывчатых газозвудушных смесей в угольных шахтах не последнее место по своей распространенности и агрессивности занимает электростатическое искрение. Что же это за источник, какие мероприятия устраняют опасность его проявления?

Заряды статического электричества - это электрические заряды, которые накапливаются на поверхности проводников и диэлектриков, в том числе на различных элементах горно-шахтного оборудования и на поверхности частиц аэровзвеси. Возникающие при этом электрические заряды называют зарядами статического электричества.

К процессам, ведущим к образованию и разделению положительных и отрицательных электрических зарядов, можно отнести, например, механические деформации при столкновении или контакте поверхностей двух твердых тел, поверхностей твердого тела и жидкости или аэровзвеси, при разрыве (или отделении) поверхностей твердых тел или жидкости газами или каким-либо другим агентом, в частности, ионизированными газами.

Наиболее интенсивная и опасная электризация наблюдается в процессе пневмотранспортирования гранул (и особенно пылевых частиц) ВВ, что может при определенных условиях вызвать самовоспламенение этого порошкообразного (гранулированного) ВВ.

Механизм возникновения зарядов статического электричества на проводниках и диэлектриках до настоящего времени изучен недостаточно.

На предприятиях горной промышленности протекают технологические процессы, при которых наблюдается электризация многочисленного и разнообразного горно-шахтного оборудования. Наэлектризованные изделия в контакте с пылегазовоздушными смесями создают в выработках взрывоопасные ситуации.

Большинство случаев воспламенений метановоздушной смеси в угольных шахтах произошло вследствие возникновения разрядных искр статического электричества, накопленного на изолированных металлических узлах пневматической сети (штуцерах, тройниках, переходниках, наконечниках и т.д.) при обтекании их пылевым или водным потоками.

По этой причине, например, произошел взрыв в французской шахте "Драккорте". На участке, где полностью отсутствовала электроэнергия, в лаве работал пневматический двигатель конвейера. По мере подвигания за-

боя двигатель переносили на новое место, отсоединяя от него прорезиненный шланг длиной 2.5 м и диаметром 30 мм, на конце которого был металлический наконечник длиной 200 мм. При переноске шланга в отверстие наконечника попадал иттыб, и поэтому перед присоединением его к двигателю производили продувку сжатым воздухом. В момент такой продувки произошло воспламенение метановоздушной смеси. Взрыв был вызван разряженной искрой статического электричества, возникшей между изолированным металлическим наконечником и землей в потоке мелких твердых частиц, проходивших по воздухопроводу через наконечник.

При расследовании причин взрыва в бельгийской шахте “Барандоже” было обнаружено рассоединение резинового шланга пневматической сети воздухопровода в месте соединения отдельных отрезков шланга металлической трубкой. Воспламенение произошло во время отброса шланга с металлической соединительной трубкой к стенке выработки. В результате проведения исследований на оборудовании был сделан вывод, что источником воспламенения метановоздушной смеси был электрический заряд, накопленный металлической соединительной трубкой: заряд разрядился в искру в момент падения трубки на землю.

Причиной взрыва в бельгийской шахте в г. Лиге явилась электризация изолированного металлического наконечника вследствие прохождения по нему сжатого воздуха, содержащего мелкие частицы пыли, ржавчины, масла и т.п., с последующим разрядом в искру на заземленную с противоположного конца металлическую спираль, закрепленную внутри двухслойного прорезиненного шланга.

Известен взрыв местного скопления метана у приводной головки конвейера, который произошел при удалении метана сжатым воздухом с помощью прорезиненного шланга длиной 9 м и диаметром 20 мм, присоединенному к главному металлическому воздухопроводу. Свободный конец шланга с металлическим наконечником был обмотан вокруг стойки. В момент подачи сжатого воздуха произошел взрыв метана. Исследования шланга с наконечником на способность накопления зарядов статического электричества подтвердили взрывоопасный характер разрядных электростатических искр.

В 1961 г. в Донбассе в шахте им. Дзержинского треста “Дзержинск-уголь” произошло воспламенение метановоздушной смеси на крутом пласте, когда в верхней части лавы работал комбайн, а в нижней - отбойный молоток. К отбойному молотку сжатый воздух поступал от магистрального трубопровода через прорезиненный шланг длиной 15...20 м, диаметром 19 мм. К свободному концу тройника был присоединен еще один резиновый шланг длиной 5...10 м, диаметром 50 мм с проколом и заглушкой на конце. Источником воспламенения метановоздушной смеси явились разрядные искры статического электричества с металлического тройника. Возникновение взрывоопасных зарядов статического электричества на металлическом тройнике, изолированном от земли, при прохождении сжатого воздуха подтверждалось в лабораторных условиях несколькими опытами. В результате внесения твердых частиц угольной пыли и ржавчины и песка внутрь трубо-

провода на металлическом тройнике было зафиксировано напряжение до 6000 В.

Электризация, кроме воспламенения взрывоопасных смесей, приводит к несанкционированному взрыву ЭД.

Несколько случаев взрыва ЭД произошло в шахтах и рудниках бывшего СССР от электризации горнорабочих (взрывников).

Причиной взрыва ЭД в руках кладовщика раздаточного склада, например, в шахте “Иловайская” ПО “Октябрьуголь” явился электрический заряд, накопленный на его теле вследствие электризации при выполнении работ. Спецодежда кладовщика не соответствовала требованию нормативных документов и обладала повышенными диэлектрическими свойствами. Это привело к образованию электростатических зарядов на его теле и взрыву при соприкосновении с ЭД.

В шахтах Рурского бассейна произошло несколько преждевременных взрывов ЭД, находившихся в заряженных шпурах, от электризации электродетонаторных проводов при проветривании (продувании) забоя сжатым воздухом. Было нарушено основное требование по безопасности: в процессе зарядки шпуров никакие другие операции в призабойном участке не должны выполняться.

Взрыв ЭД в свою очередь может привести к воспламенению газовой смеси.

Аккумулируемый на теле человека электрический заряд высокого потенциала (>10 кВ), кроме того, отрицательно сказывается на состоянии его здоровья: появляется боль в конечностях, особенно в руках, нарушается нервно-психическое равновесие и сон, возникает чувство беспокойства, повышается свертываемость крови, может быть нарушена сердечная деятельность и вследствие этого возникнуть необходимость госпитализации. Поэтому не случайно, что академик Микулин пользовался в своей квартире токопроводящими комнатными тапочками, заземленными через радиатор с помощью кабеля соответствующей длины.

Электростатическая искробезопасность (ЭСИБ) должна обеспечиваться устранением разрядов статического электричества, способных стать, в частности, источником воспламенения взрывоопасной МВС. Изделие из электризуемого материала следует относить к ЭСИБ, если энергия разряда с этого изделия не более $3 \cdot 10^4$ Дж или заряд в импульсе не более $5 \cdot 10^8$ Кл.

Способы и средства защиты от статического электричества горношахтного оборудования подробно рассмотрены в книге Залесского П.С. и Ихно С.А. “Защита горно-шахтного оборудования от статического электричества” (М.: Недра, 1989. – 135 с.). На данной лекции вы познакомитесь только с основными направлениями по предупреждению воспламенения метана и взрыва ЭД от зарядов статического электричества.

а) устройство заземления токопроводящих элементов.

Заземление - эффективное мероприятие для защиты от накопления зарядов статического электричества на токопроводящих элементах.

Электрически заземленным считается такое оборудование, в котором сопротивление утечке тока в любой точке (при самых благоприятных условиях) $< 10^6$ Ом.

Рекомендуемые специальные схемы заземления зависят от вида горно-шахтного оборудования и технологического процесса.

Например, заземление одиночных металлических элементов (штуцеров, тройников, переходников, наконечников и т.д.) на шлангах может быть выполнено путем их электрического соединения с бандажами и присоединения к общему заземлителю. В частности, в рассмотренной на предыдущей лекции пылеулавливающей установке на проходческом комбайне должны быть заземлены все металлические элементы трубопровода, предназначенного для отсоса запыленного воздуха.

Известен случай, когда в одной зарубежной соляной шахте преждевременно взорвался ЭД вследствие электризации его проводов выдуваемой из соседнего шпура пылью при пневмозаряжении.

Например, для недопущения подобной аварийной ситуации при передовом торпедировании, т.е. для предотвращения возможности взрыва патрона-боевика скважинного монозаряда в процессе пневмотранспортировки в скважину сыпучей забойки ВМК-1 вдоль скважины прокладывается заземленный (через пневматическую лебедку) металлический трос. Кроме того, на время подачи забойки в скважину заземляется и взрывной кабель.

В заключение необходимо подчеркнуть, что на одном объекте, на котором ведутся взрывные работы, должен быть один заземляющий контур.

Так, например, в МакНИИ в одно время опытный штрек был подсоединен к одному заземлителю, а наблюдательная (пульт, с которого ведется взрывание) - к другому (расстояние между ними около 20 м). Естественно, оба заземляющих контура имели различные токи утечки. Это привело к взрыву ЭД в процессе монтажа взрывной сети в опытном штреке, т.е. в процессе присоединения одного проводника ЭД к магистрали, которая вторым своим концом контактировала с оборудованием пульта (второй проводник ЭД в это время касался опытного штрека).

б) применение материалов и конструкций с электростатической искробезопасностью (ЕСИБ).

Как уже отмечалось, накопление зарядов статического электричества, способных стать источником воспламенения МВС, возможно не только на проводниках, но и на диэлектриках.

Так, например, в экспериментальном штреке опытной шахты "Барбара" в Польше зарегистрировано воспламенение метановоздушной смеси зарядами статического электричества, накопленными шахтерской каской.

В то же время обеспечить ЕСИБ диэлектриков путем заземления невозможно - они не являются токопроводящими. Поэтому для полимеров нормативными документами установлены безопасные значения сопротивления в зависимости от назначения и условий работы изделия. Так значение электрического сопротивления материалов не должно превышать: 10^6 Ом для шлан-

гов, предназначенных для подачи гранулированного ВВ; $3 \cdot 10^8$ Ом/м для конвейерных лент и вентиляционных труб, 10^8 Ом/м для спецобви, 10^9 Ом/м для материалов спецодежды и горно-шахтного оборудования, 10^{11} Ом/м для лопаток рабочих и направляющих колес.

Однако ни один из нормативных документов не ограничивает нижний уровень электрического сопротивления полимерных материалов горно-шахтного оборудования, т.к. эти материалы имеют достаточно высокие их нормативные значения (превышают 10^6 Ом). В тоже время заводы резинотехнических изделий за счет добавления в композицию большого количества антисептиков изготовили опытные образцы полиэтиленовых шлангов, сопротивление изоляции которых оказалось равным 50...200 Ом. Применение таких изделий, безусловно, исключает накопление зарядов статического электричества на пневмоподачах, однако увеличивает опасность поражения электрическим током обслуживающего персонала при прикосновении шлангом к токопроводящим системам, находящимся под напряжением. Во избежание этой опасности ГОСТом 12.4.124-83 был все же ограничен нижний предел электрического сопротивления для спецодежды, спецобуви, колец и браслетов - 10^6 Ом между ними и землей.

Важность правильного выбора конструкции в целом, которая удовлетворяла бы существующим требованиям электростатической искробезопасности, поясняется следующим примером.

Для тушения подземных пожаров использовался шахтный порошковый огнетушитель ОПШ-10, состоящий из металлического корпуса (емкостью 10 или 6 л), головки, баллона со сжатым воздухом и вспушивающего устройства. Кроме того, для направления огнетушащего порошка огнетушитель укомплектован резиновым шлангом длиной 0.5м, один конец которого крепится к корпусу, а во втором крепится металлическая трубка. При срабатывании огнетушителя из корпуса через резиновый шланг и металлическую трубку движется порошок со скоростью 40 м/с со средней концентрацией в воздухе до 13 г/м^3 . Измеряемое в опытах напряжение электризации на трубе достигало 13 кВ. Установлена возможность воспламенения метановоздушной смеси от наэлектризованной металлической трубки. Снижение электризации трубки до безопасных значений может быть достигнуто в данной конструкции одним из рекомендуемых способов:

- использование шлангов с электрическим сопротивлением менее 10^9 Ом;
- соединение спиралью металлической трубки с корпусом огнетушителя;
- заменой металлической трубки пластмассовой.

в) выбор безопасных условий эксплуатации.

В связи с тем, что на электризацию изделия влияют не только диэлектрические свойства материалов, но и условия эксплуатации, можно, изменяя в определенных пределах условия эксплуатации, повысить электростатиче-

скую искробезопасность изделий (ЕСИБ) за счет изменения относительной влажности воздуха, создания орошения, снижения скорости движения запыленных воздушных потоков, повышения крупности твердых частиц аэрозвеси и т.д. Например, при пневмотранспортировании в скважину сыпучей забойки ВМК-1 (при торпедировании кровли) она в зарядчике ЗМК-1 увлажняется.

г) организационно-технические мероприятия.

К ним относятся мероприятия, которые могут быть выполнены силами предприятий. В качестве примера приведем несколько мероприятий:

- предупреждение взрыва метана наэлектризованными отрезками электродетонаторных проводов может быть обеспечена, например, с помощью предохранительной среды из пены - в этом случае одиночные металлические предметы (гильзы и провода) заземляются через электропроводную пену;
- основное средство защиты от преждевременных взрывов ЭД от наэлектризованного горнорабочего - это выполнение требований безопасности, предъявляемых к спецодежде и спецобуви;
- в помещении, где находятся ЭД (склад, лаборатория и т.д.), должны быть устройства, позволяющие снимать статические заряды с тела человека, например, можно использовать заземленные поручни, дверные ручки и другие металлические детали, с которыми неизбежно контактирует человек при входе в помещение.

17.2 Основные принципы взрывозащиты дегазационных систем угольных шахт

Дегазация (отсос метана из угольных пластов и выработанного пространства лав) является одним из основных способов регулирования параметров рудничного воздуха. В последние годы XX столетия дегазацию горных работ успешно применяли около 80 шахт Украины. На многих шахтах сеть дегазационных газопроводов достигала 10 км.

Кроме того, извлекаемый из подземной толщи метан может быть использован как топливо, что особенно важно в период энергетического кризиса в Украине. Еще в 80-х годах XX столетия многие угольные предприятия Донбасса стремились подчинить метан, используя его для бытовых нужд. В частности, успешно применили его в г. Макеевке для своих котельных горняки шахт им. Бажанова, имени Орджоникидзе и других. Однако дальше дело не пошло.

Но начинание их не пропало даром. В числе инициаторов остались такие угольные предприятия, как шахты имени газеты «Социалистический Донбасс», «Лутугинская» и другие. И вот на основе их опыта уже появилась и первая шахтная электростанция на метане. Построена она на шахте имени 1 Мая государственной холдинговой компании «Шахтерскантрацит». Эта но-

востройка – первая в стране такого рода. Все оборудование отечественное. Мощность 500 квт. Этой энергии хватит для нужд всего поселка.

Дегазация должна предусматриваться в проектах строительства и реконструкции шахт, вскрытия и подготовки горизонтов, блоков, панелей и паспортных выемочных участков, проведения и крепления подземных выработок.

Способы и схемы выполнения дегазации, методы оптимизации и контроля их параметров отработаны и изложены в нормативных документах.

В тоже время эксплуатация дегазационных систем характеризуется повышенной опасностью возникновения аварий, связанных со взрывами и пожарами в шахтах.

Основными причинами воспламенения транспортируемой по трубопроводам дегазационной сети метановоздушной смеси являются:

- самовоспламенение смеси внутри дегазационного трубопровода при попадании его в зону пожара;
- проникновение пламени пожара или вспышки через устье (всос) трубопровода, например, при дегазации выработанного пространства, которое отмечается повышенной пожаро- и взрывоопасностью;
- проникновение пламени сквозь фланцевые соединения при пожаре или вспышке в горных выработках;
- разрушение дегазационного трубопровода взрывом газопылевоздушных смесей;
- поджег смеси на конце трубы для выпуска газа в атмосферу, например, ударом молний.

Авария в шахте Ленинского комсомола ПО “Укрзападуголь” может свидетельствовать об уровне опасности дегазационных систем. 9 ноября 1983 г. обнаружено горение МВС в газопроводе на участке “ВНС – ствол шахты”, при этом участок длиной 6м был раскален до красно-белого цвета. Зона разогрева медленно перемещалась в сторону шахты и участок трубопровода длиной 30 м был сильно деформирован. После остановки вакуумнасосов пожар на поверхности был потушен, однако пламя распространилось по газопроводу (расстояние 4,5 км) до скважин и через трещины подожгло метан в выработанном пространстве. Возникший пожар был потушен только через 8 месяцев.

Опасность возникновения взрывов возрастает в связи с имеющейся тенденцией к снижению средней концентрации метана в отсасываемой смеси.

В соответствии с "Инструкцией по безопасному ведению дегазационных работ на шахтах" (Приложение к § 236 ПБ) пожаро- и взрывозащита дегазационных систем на отечественных шахтах обеспечиваются следующими техническими и организационными мерами:

- концентрация метана в дегазационных трубопроводах должна быть не менее 25%;

- для дегазации шахт должны применяться вакуум-насосы, исключающие возможность воспламенения в них отсасываемой метановоздушной смеси;
- здания вакуум-насосной станции (ВНС) должно быть удалено от промышленных и жилых объектов на расстояние не менее 20 м;
- здания и сооружения ВНС должны быть обеспечены молниезащитой;
- конец трубы для выпуска газа в атмосферу должен превышать верхний уровень крыши ВНС на 2 м;
- на всех ответвлениях от газопровода должны устанавливаться задвижки;
- в случае воспламенения выброшенной в атмосферу метановоздушной смеси необходимо перекрыть задвижку на всасывающем газопроводе, остановить вакуум-насос;
- устья использованных и отключенных от газопровода скважин перекрываются металлическими заглушками с прокладками из трудно сгораемого материала.

Учитывая, что количество шахт, транспортирующих по трубопроводам взрывчатые или близкие к ним газовые смеси, составляет от 30 до 80%, нормативными документами предусматривается установка дополнительных технических средств взрывозащиты дегазационной сети в трех местах: на выбросе МВС в атмосферу (на “свече”), на трубопроводах, ведущих к потребителю и в шахту. В частности, “Инструкция по применению дегазации при пожарах” (М.: Недра, 1982. - 36 с.) рекомендует установку в дегазационной сети огнепреградителей (серийно выпускаются для защиты резервуаров, емкостей с нефтепродуктами и другого технологического оборудования). Подробно об огнепреградителях будет рассмотрено в следующей лекции.

17.3 Взрывозащита при бурении скважин

Бурение скважин — это один из основных и наиболее опасных технологических процессов при дегазации угольных шахт.

Процесс бурения скважин вносит определенный вклад в печальную статистику взрывов в угольных шахтах. При вращательном бурении практически ежегодно происходит 1...2 взрыва МВС, число вспышек метана достигает 10% от общего числа таких аварий в шахтах СНГ.

Основными источниками воспламенения метановоздушной смеси при бурении скважин могут быть:

- фрикционное искрение, вызванное трением бурового механизма о включения пирита или колчедана в угольном массиве (более 70% всех воспламенений, возникших при бурении скважин);

- нагрев трущихся поверхностей при потере бурильной головки (коронки) или при пересечении режущим инструментом других скважин, обсаженных стальными трубами (14% всех аварий);

- электрическое искрение в зазоре между буровым инструментом и обсадной трубой при появлении блуждающих токов, а также в кабеле у устья скважины;

- загорание угля от трения о буровой инструмент.

Примером таких аварий может служить взрыв в шахте им. К.Е. Ворошилова ПО “Прокопьевскуголь”. Воспламенение метана произошло при бурении скважины буровой машиной БГА-4. Источник воспламенения – искрение при трении зубков коронки о твердые включения в угле. Это воспламенение развилось во взрыв в горной выработке, взрывчатая МВС в которой образовалась из-за остановки вентилятора местного проветривания.

Два воспламенения метана в скважинах от искрения при воздействии бурового инструмента (коронки) на твердые вмещающие породы произошло в 1981 году в шахте им. 50-летия октября ПО “Укрзападуголь” при испытаниях опытных образцов бурошнековой установки БШУ.

При бурении скважин пневматическими станками в шахтах ПО “Донецкуголь”, “Первомайскуголь”, “Стахановуголь”, “Советскуголь”, “Орджоникидзеуголь”, “Артемуголь” отмечалось неоднократное загорание угля от трения о буровой инструмент.

В настоящее время бурение дегазационных скважин и скважин другого назначения в угольных пластах осуществляется мокрым или сухим способами.

Широкое применение мокрого способа бурения с выносом бурового штыба водой в шахтах, опасных по газу или пыли, основывается на учете целого ряда особенностей, связанных с его взрывобезопасностью - по данным ДонУГИ, чаще происходят вспышки метана в скважинах при пневматическом бурении.

Взрывозащита горных выработок при мокром бурении скважин достигается совокупным действием следующих факторов:

- при мокром бурении разбавление воздухом поступающего в скважину из массива метана не происходит и буровой инструмент работает в инертной среде, т.е. при долях метана, которые находятся за верхним концентрационным пределом его взрыва (взрываемости, воспламенения);

- непрерывная подача в скважину воды охлаждает бурильную головку и устраняет фрикционное искрение при ее трении о твердые включения в пласте.

Вместе с тем многолетняя практика применения этого способа показала, что в процессе мокрого бурения стенки скважины под воздействием воды теряют устойчивость и осыпаются, при этом особые сложности возникают при пересечении скважиной размокаемых в воде породных прослоек. Частые случаи заклинивания (“прихвата”) бурового инструмента при мокром бурении в этих условиях не позволяет доводить длину скважин до проектных

значений. Другим существенным недостатком мокрого бурения дегазационных скважин является закупорка буровым шламом трещин и пор на стенках скважин, через которые происходит газовыделение из угольного пласта. Поэтому наряду с мокрым в шахте применяется и сухой способ бурения пластовых скважин с выносом бурового штыба сжатым воздухом, который устраняет технические недостатки бурения с промывкой.

Бурение скважин при сухом способе происходит с помощью станков СБГ-1м и полых буровых штанг, по внутреннему каналу которых подается сжатый воздух. Вначале на глубину герметизации мокрым способом пробуривается скважина диаметром 132 мм, затем в скважину вводится обсадная труба, после чего затрубное пространство заполняется раствором. Крепление кондуктора к обсадной трубе осуществляется с помощью фланцевого соединителя. Замыкающий устье скважины кондуктор, через который проходит буровая штанга, состоит из пылеприемной камеры с пылеотводящим патрубком, пакетом сальниковых уплотнителей и торцевой фланцевой муфты.

Однако этот способ бурения пластовых скважин характеризуется повышенной опасностью воспламенения метановоздушной смеси. При определенных режимах подачи сжатого воздуха для выноса бурового штыба возможно образование в скважине взрывчатых концентраций метана, угольной пыли или других горючих компонентов. Определенную опасность может представлять выпуск из скважины загрязненной воздушной струи, содержащей высокие концентрации метана и пыли с образованием взрывоопасных ситуаций в призабойном пространстве.

Это подтверждают воспламенения, происходящие в шахтах при сухом способе бурения скважин (шпуров).

21 ноября 1960 г. в 13 ч. 50 мин. в шахте “Анненская” бывшего треста “Кадиевуголь” произошел взрыв метана в забое вентиляционного штрека по пл. 13 при бурении шпуров по породе кровли пласта. Причина взрыва взрывоопасной метановоздушной смеси, образовавшейся у устья шпура в призабойном пространстве, - короткое замыкание у ввода кабеля в сверло. Пострадало 7 человек (ожоги, отравления), двое из которых умерли.

13.09.77, 10 ч. 05 мин., ш. “Комсомолец” ПО “Артемуголь” - взрыв метана и угольной пыли в опережении откаточного штрека пл. К4 “Рудный” гор. 850 м. Взрыв произошел при бурении дегазационной скважины станком ЛБС-2. В процессе бурения пробурили песчаник, из него пошел конденсат - жидкие тяжелые углеводороды парафинового типа С5. За 2,5 ч. выделилось 500 л конденсата. Из скважины наблюдалось интенсивное выделение метана. Точно установить причину взрыва не представлялось возможным. Наиболее вероятно воспламенился аэрозоль конденсата, а затем метан. Взрыв распространился на 70...75 м по штреку и нижней печи лавы. Погибло 4 человека (2-е - удушье, 2-е - травмы), тяжелые - 4 человека (3-е - ожоги, 1 - травмы).

Основными составляющими элементами взрывозащитных мероприятий при сухом способе бурения пластовых скважин являются:

- непрерывная подача в скважину в процессе бурения сжатого воздуха для разжижения метана и выноса буровой мелочи: для наклонных и вертикальных скважин - не менее 3,4 м³/мин, для горизонтальных и нисходящих - не менее 1,7 м³/мин;
- обеспечение необходимой прочности крепления в скважине обсадной трубы и кондуктора с таким расчетом, чтобы в случае воспламенения горючей смеси при бурении не произошел выброс пламени из устья скважины в выработку;
- подавление угольной пыли в исходящем из скважины воздушном потоке. Для этого воздушный поток поступает в заполненную водой емкость, в которой осаждение бурового штыба производится посредством барботажа.

В качестве дополнительных мер обеспечения безопасности при применении любого способа бурения рекомендуется:

- перед началом бурения и в процессе его регулярно проверять надежность соединения режущего инструмента с буровым ставом;
- при бурении скважин должен осуществляться непрерывный контроль содержания метана в соответствии с требованиями действующей “Инструкции...”;
- в том случае, если концентрация метана в выработке во время бурения превысит установленные нормы, бурение немедленно прекратить, буровой станок обесточить, при этом подачу сжатого воздуха в скважину не прекращать;
- во время бурения постоянно следить за давлением воздуха, состоянием сальниковых уплотнителей и емкостью для барботажа.

17.4 Основные направления предупреждения воспламенений метана в наземных и подземных сооружениях

Выделяющийся из угольных пластов метан под собственным давлением заполняет все возможные пустоты и трещины, образующиеся в зоне ведения горных работ. В некоторых случаях метан достигает земной поверхности, проникает в подвалы, колодцы, жилые помещения и другие подземные и наземные сооружения, создает опасные ситуации из-за возможного взрыва метановоздушной смеси.

Вот несколько примеров.

Выделение метана в пойме р. Нижняя Крынка у пос. Зуевка было обнаружено туристами в 1965 г. Газ выходил на поверхность в заболоченной части поймы и неоднократно поджигался. Интенсивное выделение метана продолжалось более 30 лет.

Газовыделение в поселке Николаевка (шахта “Харцызская” ПО “Октябрьуголь”) было обнаружено после взрыва метана в июле 1968 г. в колодце дома № 8 по улице Первомайской, происшедшего во время откачки воды с помощью электронасоса.

Выделение метана в котельную автоколонны № 14 Вахрушевской автобазы было обнаружено 04.01.84, после его загорания в трещинах пола возле котла, работавшего на твердом топливе. Выделение прекратилось после отвода метана по скважинам (до бурения в почвенном воздухе содержание метана доходило до 60%).

Зарегистрировано 6 случаев воспламенений метана в г. Стаханове и Первомайске.

В пос. ш. “Максимовская” треста “Кадиевуголь” выделение метана было обнаружено в начале 70-х годов XX столетия по вспышкам метана в жилых помещениях, его горению в заброшенном погребе и по окислению почвы.

В районе пер. Д. Бедного пос. ш. “Максимовская” в подвальном помещении дома № 17 18.05.74 было обнаружено воспламенение метана. 24.02.77 в этом же доме произошла вторая вспышка метана, перешедшая в пожар, что привело к тяжелым последствиям.

Выделение метана на земную поверхность вблизи завода им. К. Маркса (г. Стаханов) было обнаружено в 1954 г. по его вспышкам в жилых домах, а также горению в песчаном карьере.

Реструктуризация угольной промышленности породила еще один источник накопления метана на земной поверхности. После закрытия шахт (Постановление Кабинета Министров Украины от 28.03.97 за № 280 предусматривает закрытие в Украине начиная с 1998 г. 105 отработавших запасы и убыточных шахт вместе с водой на поверхность рвется газ. Примеры есть в Донецкой и в Луганской областях. Последствия этого могут быть серьезные. Вырывающийся на поверхность после ликвидации шахты (горных выработок) газ метан начинает добираться до подвалов жилых помещений, в строящиеся и эксплуатируемые подземные сооружения, где создает опасные ситуации из-за возможного взрыва метановоздушной смеси.

Мощный взрыв прогремел 2 мая 2001 г. в 18.12 в пос. Объединенный (г. Макеевка). Накрывшая вслед за ним этот населенный пункт, пос. Калиново и микрорайон «Зеленый» взрывная волна заставила содрогнуться многотонные жилые строения. А поднявшееся в воздух тяжелое бурое облако дыма и пыли на несколько минут приковало к месту ЧП – вентиляционному стволу шахты им. Ленина – взоры встревоженных дачников, вышедших в этот теплый денек на свои участки, расположенные между Объединенным и «Зеленым».

Взрыв повредил здание промышленной площадки размером в полгектара, разрушил каменное строение и снес полкопра – его верхушка, словно срезанная ножом, рухнула здесь же, возле ствола. Пострадали и люди – двое мужчин и женщина. С ожогами 1-3 степени они госпитализированы в ожоговое отделение горбольницы № 2.

По предварительным оценкам специалистов «Макеевугля», причиной взрыва объекта, не эксплуатируемого полтора года, послужило выделение метана из шахтной выработки на глубине 650 м. При ее заполнении водой произошло выдавливание метана на поверхность через вентствол.

Кроме того, проникновение метана на земную поверхность вызывает любопытное явление известное как “выгорание почвы”. Профессор Печук, впервые описавший это явление, объяснил его окислением почвы. Тщательные исследования, проведенные в 1972 г., показали, что причиной “выгорания почвы” являются процессы бурного развития микроорганизмов в результате образования в почве анаэробной среды при заполнении пустот шахтным метаном. При этом сами микроорганизмы (бактерии) генерируют метан, перерабатывают органическую часть почвы в метан. Содержание органики в почве снижается с 12% до 1% и менее, почва превращается в светлую плотную массу. Например, содержание метана в отобранных из почвы пробах достигало 98% и постепенно уменьшалось до 8% на глубине 1,8 м. В отобранных в полиэтиленовые мешки пробах почвы содержание метана наоборот увеличивалось во времени, причем наиболее высокое содержание было в пробе, отобранной в верхнем слое почвы, которое доходило до 70% при дебите $0,075 \text{ м}^3/\text{сутки}$ с 1 м^3 почвы. Особенно бурно происходили бактериологические процессы после дождя; при этом наблюдались пенные выделения, которые после исследования под микроскопом оказались сплошь состоящими из бактерий.

Для борьбы с “выгоранием почвы” необходимо создавать аэробные условия в почве путем вспашки и осушивания.

Вместе с тем это явление может быть использовано для разработки эффективной технологии утилизации растительного и другого городского мусора, получения комфортного топлива-метана и для экологической защиты окружающей среды.

Таким образом, процесс выделения метана на поверхность приводит в свою очередь к образованию новых порций метана в почвенном слое, т.е. получается что-то на подобие цепной реакции. Выделение метана может происходить не повсеместно, а лишь на определенных, так называемых опасных (уже имеются газовыделения) и угрожаемых (метановыделения нет, на оно возможно) участках поверхности. Методика отнесения участков поверхности на опасные, неопасные и угрожаемые приводится в “Инструкции по защите зданий от проникновения метана” (Макеевка - Донбасс: Изд. МакНИИ, 1986. – 60 с.) (рис. 17.1).

Миграция шахтного газа находится в тесной зависимости от климатических условий. При падении атмосферного давления газ в пустотах расширяясь приближается к земной поверхности; длительные ливневые дожди вытесняют газ из более глубоких пустот. Проникая в помещения горючий газ может длительное время представлять угрозу несчастного случая. Место и время накопления газа не могут быть с достаточной надежностью прогнозированы и поэтому не могут быть предупреждены несчастные случаи. Следовательно, необходимо иметь непрерывно действующее средство, обеспечивающее предотвращение несчастного случая.

Основной мерой борьбы со взрывами в зданиях и подземных сооружениях является недопущение попадания и накопления в них горючих газов и

паров, в том числе метана. Такую защиту обеспечивают одним из следующих мероприятий:

- вентиляции;
- газоизоляцией нижних частей сооружения;
- дренированием газа на пути его движения в сооружение.

Вентиляция является одним из важнейших мероприятий по предотвращению воспламенений газопылевоздушных смесей в наземных сооружениях.

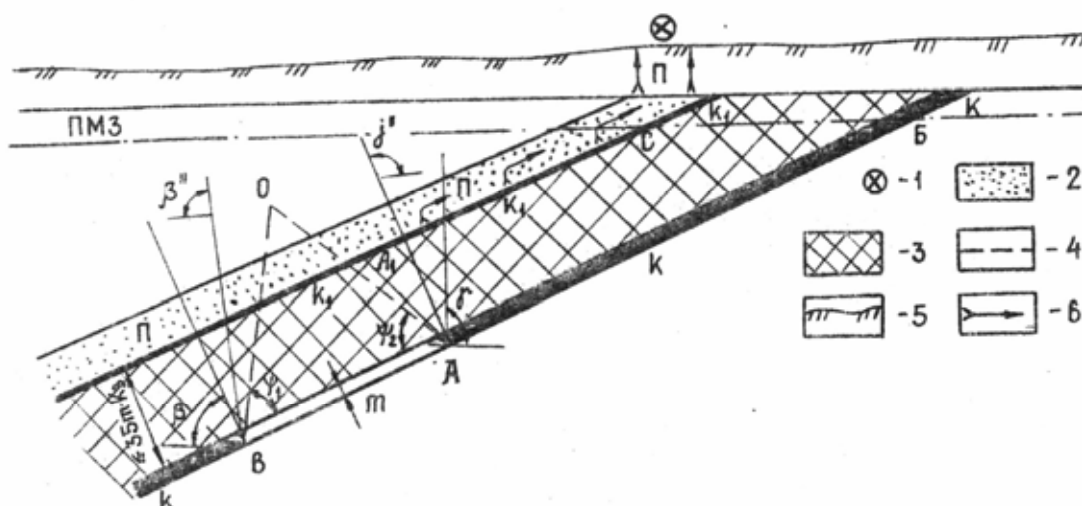


Рис. I. Схематический геологический разрез пород в месте возможного выделения метана на поверхность по первично подрабатываемой трещиноватой водоносной породе, залегающей над разрабатываемым пластом на расстоянии до 35 вынимаемых его мощностей: 1 – место возможного выделения метана на поверхность; 2 – трещиноватая водоносная порода; 3 – породная толща, при нахождении в которой пласта-источника (K_T) по водоносной породе (П) может происходить выделение метана на поверхность; 4 – поверхность метановой зоны; 5 – наносы; 6 – направление движения метана

Так например, из-за плохой вентиляции 13 января 1999 г. на Калининской АЭС при покраске вентиляционных систем прошел взрыв паров лакокрасочного материала. Пострадало 3 человека.

Вентиляция должна обеспечиваться с помощью приточно-вытяжных систем. Тепловая вытяжная вентиляция была осуществлена, например, при строительстве новых домов в городе Бориславе, где в результате сложной газовой обстановки и имевших место взрывах в домах была чрезвычайно накалена ситуация.

Перекрытие должно быть газонепроницаемым и огнестойким. Предел огнестойкости для новых сооружений - не менее 1 ч, для эксплуатируемых - не менее 0,75 ч.

Газонепроницаемость полов по грунту и перекрытий достигают применением штукатурной асфальтной изоляции, литой асфальтной изоляции, клеечной битумной изоляции, пластмассовой листовой изоляции.

Для исключения проникновения газа в технические коридоры применяют газонепроницаемые экраны или дренажи, устраиваемые по всей площади, занимаемой подземным сооружением.

Особую взрыво- и пожароопасность представляет ремонт действующих коллекторных тоннелей. Взрывы в подземных сооружениях этого типа происходят большей частью вследствие проникновения какого-либо горючего газа из подземных выработок и поврежденных газопроводов, а также вследствие образования метана (болотного газа) из гниющего канализационного ила. Кроме того, в коллекторные тоннели попадают горючие, легко испаряющиеся жидкости из сточных вод промышленных предприятий. Испаряясь они образуют взрывоопасные смеси.

В Гельзенкирхене (Германия) произошел взрыв, охвативший пространство (коллекторную сеть) протяженностью в 1200 м, причем были подброшены высоко в воздух 20 крышек канализационных колодцев массой в 150 кг каждая. Катастрофа произошла из-за выпуска бензола в канализацию одной из фабрик.

27 июля 2001 г. в г. Хмельницкий произошел взрыв при ремонте коллекторной системы. Воспламенение произошло при включении насоса. В результате было обожжено 6 человек, состояние которых непосредственно после аварии было тяжелое. Слесарь, например, в тот же день скончался. Мнение свидетелей: взорвался какой-то газ.

В целях предупреждения подобных аварий в коллекторных тоннелях необходимо вести постоянное наблюдение за состоянием в них воздуха, а также принимать меры по предотвращению попадания в них открытого пламени и искровых источников воспламенения.

Если указанные мероприятия не исключают возможности образования взрывоопасных смесей, то при строительстве подземных сооружений в районе опасных и угрожаемых участков поверхности необходимо применять рассмотренные на предыдущих лекциях системы предупреждения и локализации взрывов.

Контрольные вопросы и задания

1. Что такое электризация?
2. Каковы основные способы борьбы с электризацией полимерных материалов?
3. Перечислите мероприятия по предохранению воспламенения МВС от статического электричества.
4. Каков основной способ борьбы с электризацией токопроводящего оборудования?
5. Охарактеризуйте систему взрывозащиты при бурении скважин.
6. Перечислите причины воспламенения метана при бурении скважины.

7. Благодаря каким факторам обеспечивается взрывобезопасность “мокрого” бурения?
8. В чем заключается взрывоопасность “сухого” бурения?
9. Перечислите особенности взрывозащиты подземных сооружений.
10. Перечислите основные причины появления метана в подземных сооружениях.
11. Сформулируйте основные принципы взрывозащиты дегазационных систем.

Тема 7. Системы обеспечения взрывобезопасности производств

В этой теме будут рассмотрены основные системы взрывозащиты, которые в той или иной мере применяются при изготовлении промышленных ВВ и в дегазационных системах угольных шахт.

Лекция 18 Основы взрывозащиты технологического оборудования

Взрыв внутри оборудования и производственных помещений - одна из наиболее опасных аварийных ситуаций типичных для предприятий химической и смежных с ней отраслей промышленности, в т.ч. предприятий по изготовлению ВВ и ЭД. Практика показывает, что несмотря на специальные предупредительные меры, взрывоопасные смеси в аппаратах и трубопроводах образуются довольно часто.

К наиболее взрывоопасным (1-й класс) с нижним пределом воспламенения (взрывоопасности) до 15 г/м^3 относятся пыли: нафталина ($5,0 \text{ г/м}^3$), сахара свекловичного ($8,9 \text{ г/м}^3$), пшеничных отрубей и мельничной муки ($10,1 \text{ г/м}^3$).

Взрывчатость пыли некоторых индивидуальных и промышленных ВВ приведена в табл. 18.1.

Таблица 18.1

Взрывчатость пылей ВВ

Тип ВВ	Нижний концентрационный предел взрываемости, г/м^3	Температура вспышки, $^{\circ}\text{C}$
Аммонит 6ЖВ	14,9	- (энергия воспламеняющей электрической искры равна 1,05 мДж)
Гексоген	31,5	1075
Тротил	42,0	575
Аммонал 80/20	52,0	625
Граммонал А-8	58,3	- (энергия воспламеняющей электрической искры равна 1,32 мДж)

Поэтому профилактика взрывов в таких производствах направлена на недопущение мощных электрических искр, открытого пламени.

Поскольку возможность взрыва не может быть полностью исключена, в промышленности широко используют средства взрывозащиты технологическо-

го оборудования, предотвращающие его разрушение даже в случае возникновения в нем случайного взрыва, а именно:

- устройства для сброса давления взрыва;
- огнепреградители;
- системы активного подавления взрывов.

Рассмотрим эти средства.

18.1 Устройства для сброса давления взрыва

Достаточно надежным и одним из наиболее распространенных способов взрывозащиты технологического оборудования и зданий является применение устройств сброса давления взрыва:

- предохранительных мембран;
- взрывных клапанов;
- вышибных проемов;
- легкосбрасываемой кровли;
- предохранительных отверстий;
- выхлопных окон;
- большого количества тонких стекол.

Применение таких устройств в известной мере представляет собой паллиативное решение задачи обеспечения взрывобезопасности производств. Во-первых, потому, что они не устраняют полностью, а лишь уменьшают разрушительное действие взрыва. Во-вторых, их срабатывание почти всегда связано с большими залповыми выбросами исходных продуктов, представляющих порой опасность для окружающей среды и людей, и, кроме того, - с выбросами больших очагов пламени и горючих продуктов, обуславливающих серьезную пожарную опасность. Поэтому чтобы такая взрывозащита была достаточно надежной, необходимо выполнить два условия:

- обеспечить срабатывание предохранительных устройств при заданном давлении;
- обеспечить их достаточную пропускную способность.

Тем не менее правильно применяя устройства сброса давления взрыва, можно значительно уменьшить потенциальную опасность многих производств.

Рассмотрим подробно принцип действия только первых двух из перечисленных устройств, так как принцип действия других ясен из их названия.

18.1.1 Предохранительные мембраны

Предохранительная мембрана – это легко разрушаемая (тонкая) пластинка, устанавливаемая в корпусе оборудования (сосуда) и обеспечивающая его полную герметичность при нормальной работе, но разрушающаяся при взрыве внутри оборудования, сбрасывая при этом в атмосферу продукты взрыва и обеспечивая тем самым защиту оборудования от разрушения избыточным давлением взрыва.

Предельная простота конструкции и исключительно высокое быстродействие предохранительных мембран характеризуют их как самые надежные из всех существующих средств взрывозащиты технологического оборудования. Они обеспечивают полную герметичность оборудования (до срабатывания) и не имеют ограничений по пропускной способности. Пожалуй единственный, но весьма существенный, недостаток мембран заключается в том, что после их срабатывания оборудование остается открытым до замены сработавшей мембраны, а это, как правило, приводит к остановке технологического процесса и выбросу излишне большого количества вредных веществ в атмосферу. Все это, конечно, вполне может быть оправдано тем, что предотвращено разрушение оборудования и, следовательно, предотвращена еще более серьезная катастрофа. Однако при неправильном применении или при нарушении сроков замены мембраны могут срабатывать самопроизвольно в отсутствии аварийной ситуации. Такие ложные срабатывания могут наносить большой ущерб производству и окружающей среде.

В промышленности применяют большое число типов и конструктивных разновидностей предохранительных мембран. Наиболее характерным признаком, по которому обычно классифицируют мембраны, является характер их разрушения.

Различают следующие виды предохранительных мембран:

а) разрывные (наиболее простой и распространенный тип), изготавливаемые из тонколистового металлического проката пластичных металлов таких как алюминий, никель, нержавеющая сталь, латунь, медь, титан и т.д. Известны случаи применения неметаллических мембран из полиэтиленовой и фторопластиковой пленок; из бумаги, картона, асбеста и даже из фанеры. При нагружении рабочим давлением мембрана такого типа испытывает большие пластические деформации и приобретает ярко выраженный купол, по форме очень близкий к сферическому сегменту;

б) ломающиеся, изготавливаемые из таких хрупких материалов как чугун, стекло, графит, эбонит, поливинилхлорид. Хорошо работают в условиях динамических, пульсирующих и даже знакопеременных нагрузок. Основным недостатком - большой разброс давления, при котором они срабатывают.

в) срезные - при срабатывании срезаются по острой кромке прижимного кольца, полностью освобождая проходное сечение для выхода газа;

г) отрывные - чаще всего имеют вид колпачка с проточкой, образующей в нем ослабленное сечение. Применяют для защиты аппаратов, работающих при весьма высоком давлении, в частности, в производстве полиэтилена высокого давления;

д) хлопающие - применяют как средство защиты периодически вакуумируемых аппаратов. Основное отличие от разрывных мембран состоит в том, что они выпуклой поверхностью обращены в сторону повышенного давления (внутрь защищаемого аппарата). При повышении давления сверх критического сферический купол теряет устойчивость и очень резко с хлопком выворачива-

ется в обратную сторону. При этом мембрана ударяется о специальный нож и разрывается на лепестки;

е) мембраны, разрушаемые принудительно от постороннего источника энергии. Например, устройство содержит мембрану из закаленного стекла (сталинита) и ударный механизм. При срабатывании последнего боек наносит удар по кромке стекла. Закаленное стекло обладает большой скоростью трещинообразования и дробится на множество мелких осколков, что позволяет надежно раскрывать все сбросные отверстия мембраны.

18.1.2 Взрывные клапаны

Самым распространенным средством защиты сосудов от разрушения давлением являются взрывные предохранительные клапаны.

Взрывные клапаны имеют одно очень важное преимущество по сравнению с предохранительными мембранами: после сброса необходимого количества газов они вновь закрывают защищаемый аппарат. Широкое применение эти клапаны нашли для защиты картеров крупных судовых дизелей от взрывов масляных паров. Наиболее широкое распространение получили взрывные клапаны пружинного типа.

Однако повсеместному их использованию препятствуют два наиболее существенных обстоятельства:

- отсутствуют клапаны большого диаметра (общепромышленные клапаны имеют условный проход не более 150 мм);
- большая инерционность как грузовых, так и пружинных клапанов.

18.2 Огнепреградители

Установлено, что пламя взрыва не просто способно распространяться по технологическим коммуникациям (трубопроводам), заполненным горючей смесью, но и газодинамические эффекты, сопровождающие этот процесс, могут настолько сильно интенсифицировать дефлаграционное горение, что оно очень часто переходит в детонацию со значительной разрушительной силой.

Поэтому современная стратегия взрывозащиты трубопроводов предусматривает применение системы локализации начавшихся взрывов. Локализовать взрыв - это означает не допустить распространения пламени по технологическим коммуникациям.

К средствам локализации пламени в трубопроводах относятся различного рода огнепреградители.

Огнепреградителями называют устройства, свободно пропускающие поток пара или газовой смеси, но препятствующие распространению пламени.

Устанавливаются огнепреградители на факельных трубах для выброса горючих газов в атмосферу, перед горелками и на коммуникациях (в трубопроводах).

Действие огнепреградителей заключается в разбиении газового потока на большое число газовых струек, в которых потери тепла превышают выделение тепла в зоне реакции; в узких каналах происходит понижение температуры горения и уменьшение скорости распространения пламени. Эффективность работы огнепреградителей зависит в основном от диаметра пламегасящих каналов и слабо зависит от длины и материала стенок этих каналов. С уменьшением диаметра пламегасящего канала увеличивается его поверхность на единицу массы реагирующей смеси, вследствие чего возрастают потери тепла из зоны горения и вероятность гибели активных центров на стенках канала. При критическом диаметре канала равном 4 мм и менее скорость реакции уменьшается настолько, что дальнейшее распространение пламени полностью прекращается (теплопотери на стенки снижают скорость горения уже при диаметрах менее 50 мм).

Промышленные огнепреградители отличаются друг от друга конструкцией огнепреграждающего элемента, размером и форме корпуса, диаметром и количеством газопропускных каналов.

По принципу действия огнепреградители могут быть трех видов:

- сухие;
- орошаемые или с водяным статическим затвором (жидкостные предохранительные затворы);
- быстродействующие пламеотсекатели.

Наибольшее распространение получили сухие промышленные огнепреградители.

Конструктивно сухие огнепреградители выполняются:

- а) с насадкой из сыпучих гранулированных материалов (стеклянные или фарфоровые шарики, гравий, кирпич, корунд, черепица, кольца Рашига);
- б) кассетными (плотно свитые огнепреградительные кассеты из плоских или гофрированных металлических лент);
- в) пластинчатыми (пакет из плоскопараллельных пластин при строго определенном расстоянии между ними);
- г) сетчатыми (пакет из плотно сжатых металлических сеток);
- д) металлокерамическими (пористые металлокерамические пластины);
- е) металловолокнистыми (типа волокон файберфракс).

Наибольшее применение в системах защиты газопроводов на предприятиях нефтехимии находят сухие кассетные (спирально-ленточные) огнепреградители. Достоинства этого устройства – простота в изготовлении и эксплуатации, сравнительно небольшие размеры, надежность в работе.

Пластинчатые огнепреградители обладают высокой огнестойкостью и небольшими габаритами. Однако имеют большую массу и на их изготовление идет много дефицитного цветного металла.

В угольных шахтах в основном используются сухие огнепреградители с сетчатыми защитными элементами.

Простота изготовления, монтажа и эксплуатации; небольшая масса и размеры, а также надежность тушения пламени – основные достоинства сетчатых огнепреградителей. Основной их недостаток – малая огнестойкость.

Основными достоинствами сухих огнепреградителей являются:

- простота устройства, отсутствие движущихся частей;
- надежность в работе;
- простота обслуживания и ремонта;
- невысокая стоимость изготовления;
- возможность повторного тушения пламени без дополнительного вмешательства человека;
- автономность устройства, отсутствие необходимости подвода энергии и огнетушащих материалов;
- отсутствие вредного воздействия на технологический процесс при тушении пламени.

Однако, такие устройства имеют и свои недостатки, в том числе создание дополнительного аэродинамического сопротивления в трубопроводе и засорение каналов огнепреграждающего элемента в процессе эксплуатации.

Жидкостные предохранительные затворы (гидрозатворы) применяют в основном для защиты ацетиленовых генераторов от взрывов при газоплазменной обработке металлов, а также в производстве ацетилена. Принцип действия гидрозатвора состоит в разделении сплошного газового потока на серию газовых пузырьков в жидкости, через которую пламя распространяться не может.

Быстродействующий пламеотсекатель - это устройство, срабатывающее, т.е. перекрывающее аварийный трубопровод под действием самого давления взрыва (взрыв сам себя запирает) или по сигналу, формируемому специальным индикатором взрыва, реагирующим на пламя или давление, за счет выполнения его, например, с поворотной заслонкой.

18.3 Системы активного подавления взрывов (автоматические системы взрывоподавления)

Принцип действия системы активного подавления взрывов заключается в обнаружении его в начальной стадии возникновения высокочувствительным датчиком и быстром введении в защищаемый аппарат ингибитора (взрывоподавляющего состава), приостанавливающего процесс развития взрыва. Используя такие системы, можно подавить взрыв настолько эффективно, что в защищаемом аппарате практически не произойдет сколько-нибудь заметного повышения давления при одновременном отсутствии выбросов в атмосферу токсичных пожаровзрывоопасных продуктов, горячих газов и открытого огня. Первые системы активного подавления взрывов применили англичане, оборудовав ими во время второй мировой войны топливные баки самолетов. В 1944 г был запатентован метод автоматического подавления взрывов на мельницах; в 1948 г - в хранилищах авиационного топлива, а также в другом емкостном оборудовании промышленных предприятий. Английская фирма "Травинер" впервые внедрила этот метод взрывозащиты промышленных объектов в 1952 г, а к 1959 г уже имелась информация о 35 случаях успешного срабатывания таких систем, что обеспечило их широкое признание как одного из наиболее эффективных и

поэтому перспективных средств взрывозащиты. Кроме фирмы “Гравинер”, успешно занимаются разработкой автоматических систем взрывозащиты американские фирмы “Фенвал”, “Киддэ”, “Нью Эа техникел Сервисез”; германские фирмы “Фарбверкс”, “Хозст”, “Дайгра”, “Тоталь”, “Юнкерс” и швейцарская фирма “Циба-Гайги”.

Системы активного подавления взрывов послужили основой для создания самых различных по структуре и назначению автоматических систем взрывозащиты, осуществляющих в аварийных ситуациях следующие функции:

- подавление взрыва при его зарождении введением в очаг огнетушащего вещества;
- сброс давления взрыва через принудительно открываемые предохранительные отверстия;
- создание в трубопроводах и соседних аппаратах инертной зоны, чтобы предотвратить распространение взрыва;
- блокирование аппарата, в котором произошел взрыв, быстродействующими отсекающими устройствами;
- автоматическую остановку оборудования.

Контрольные вопросы и задания

1. Перечислите направления по взрывозащите замкнутых технологических аппаратов.
2. Какие устройства для сброса взрыва применяются в технологических аппаратах?
3. Дайте общую характеристику предохранительных мембран.
4. Перечислите виды предохранительных мембран.
5. Дайте общую характеристику взрывных клапанов.
6. Что такое огнепреградитель?
7. Приведите классификацию огнепреградителей по принципу действия.
8. Перечислите конструкции сухих огнепреградителей.
9. Какие огнепреградители используются в угольных шахтах?
10. Перечислите функции систем активного подавления взрывов.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

- 1 Умнов А.Е., Голик А.С., Палеев Д.Ю., Шевцов Н.Р. Предупреждение и локализация взрывов в подземных условиях. – М.: Недра, 1990. – 286 с.
- 2 Александров В.Е., Шевцов Н.Р., Вайнштейн В.И. Безопасность взрывных работ в угольных шахтах. – М.: Недра, 1986. – 150 с.
- 3 Борьба со взрывами угольной пыли в шахтах / М.И. Нецепляев, А.И. Любимов, П.М. Петрухин и др. – М.: Недра, 1992. – 298 с.
- 4 Краснянский М.Е. Огнетушащие и взрывоподавляющие порошки. – Донецк: Донбасс, 1990. – 110 с.
- 5 Водяник В.И. Взрывозащита технологического оборудования. – М.: Химия, 1991. – 156 с.
- 6 Веселов А.И., Мешман Л.М. Автоматическая пожаровзрывозащита предприятий химической и нефтехимической промышленности. – М.: Химия, 1975. – 280 с.
- 7 Осинев С.Н. Борьба со взрывами газа в горных выработках. – М.: Недра, 1972. – 160 с.
- 8 Качан В.Н., Саранчук В.И., Данилов А.Т. Предупреждение взрывов угольной пыли в глубоких шахтах. – Киев: Техника, 1990. – 120 с.
- 9 Предупреждение взрывов пылеметановоздушных смесей / В.И. Минаев, Ж.А. Ибраев, В.Н. Лигай и др. – М.: Недра, 1990. – 159 с.
- 10 Залесский П.С., Икно С.А. Защита горно-шахтного оборудования от статического электричества. – М.: Недра, 1989. – 135 с.
- 11 Булгаков Ю.Ф. Тушение пожаров в угольных шахтах. – Донецк: НИИГД, 2001. – 280 с.

НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ДОКУМЕНТЫ

- 1 Правила безпеки у вугільних шахтах. – Луганськ: МПП «Копцентр», 2000. – 496 с.
- 2 Збірник інструкцій до правил безпеки у вугільних шахтах, том 1. – К.: Основа, 1996. – 425 с.
- 3 Единые правила безопасности при взрывных работ. – Киев: Норматив, 1992. – 171 с.
- 4 Инструкция по выбору способа и параметров разрушения кровли на выемочных участках. – М.: Изд. ВНИИИ, 1982. – 120 с.
- 5 Руководство по применению забойки при взрывных работах в угольных шахтах. – Макеевка-Донбасс: Изд. МакНИИ, 1989. – 19 с.
- 6 Дополнения и изменения к «Руководству по применению забойки при взрывных работах в угольных шахтах». – Макеевка-Донбасс: Изд. МакНИИ, 1994. – 8 с.
- 7 Инструкция по применению взрывораспылительных завес при взрывных работах в угольных шахтах. – Макеевка-Донбасс: Изд. МакНИИ, 1984. – 21 с.
- 8 Инструкция по созданию предохранительных аэрозольных (порошковых) завес при взрывных работах в угольных шахтах. – Макеевка-Донбасс: Изд. МакНИИ, 1989. – 21 с.
- 9 Дополнения и изменения к «Инструкции по созданию предохранительных аэрозольных (порошковых) завес при взрывных работах в угольных шахтах». – Макеевка-Донбасс: Изд. МакНИИ, 1994. – 6 с.
- 10 Методические указания по составлению режимов ведения взрывных работ в угольных шахтах по газу или разрабатывающих пласты, опасные по взрывам пыли. – Макеевка-Донбасс: Изд. МакНИИ, 1994. – 10 с.
- 11 Типовое положение о руководстве взрывными работами в угольных шахтах. – Макеевка-Донбасс: Изд. МакНИИ, 1994. – 16 с.
- 12 Инструкция по защите зданий от проникновения метана. – Макеевка-Донбасс: Изд. МакНИИ, 1989. – 60 с.
- 13 Инструкция по безопасному ведению дегазационных работ на шахтах. Приложение к § 236 ПБ.
- 14 Инструкция по применению дегазации при пожарах в шахтах / А.Л. Романчук, Г.М. Алейников, О.И. Касимов, Ю.В. Кудинов и др. – М.: ВУ ВГСЧ, 1982. – 82 с.
- 15 Инструкция по применению сотрясательного взрывания в угольных шахтах Украины. – Макеевка-Донбасс: Изд. МакНИИ, 1994. – 46 с.
- 16 Сборник нормативных документов по взрывным работам в угольных шахтах: КД 12.01.1201-99: Утв. Первым зам. Министра угольной промышленности Украины 22.11.99 и Председателем Госнадзорхрантруда Украины 31.12.99. – Макеевка-Донбасс, 2000. – 240 с.

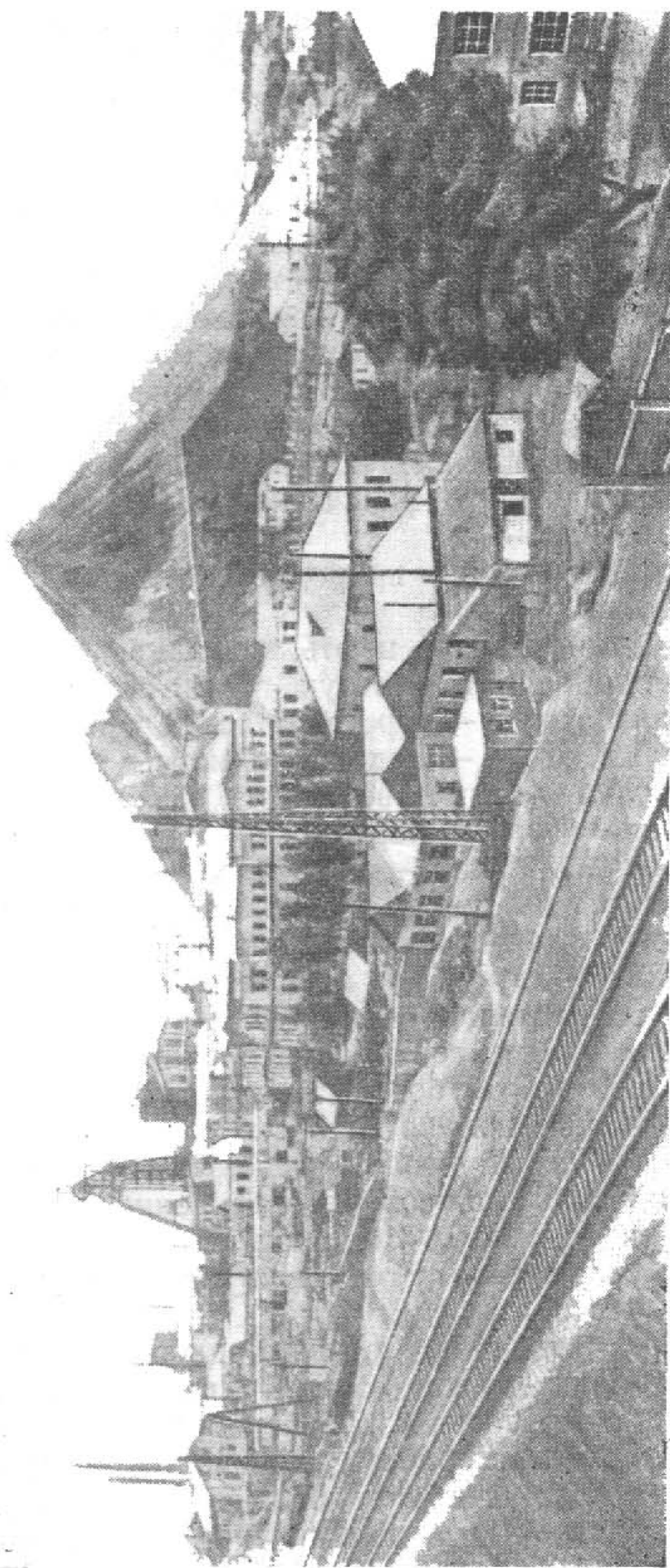
Учебное издание

Шевцов Николай Романович

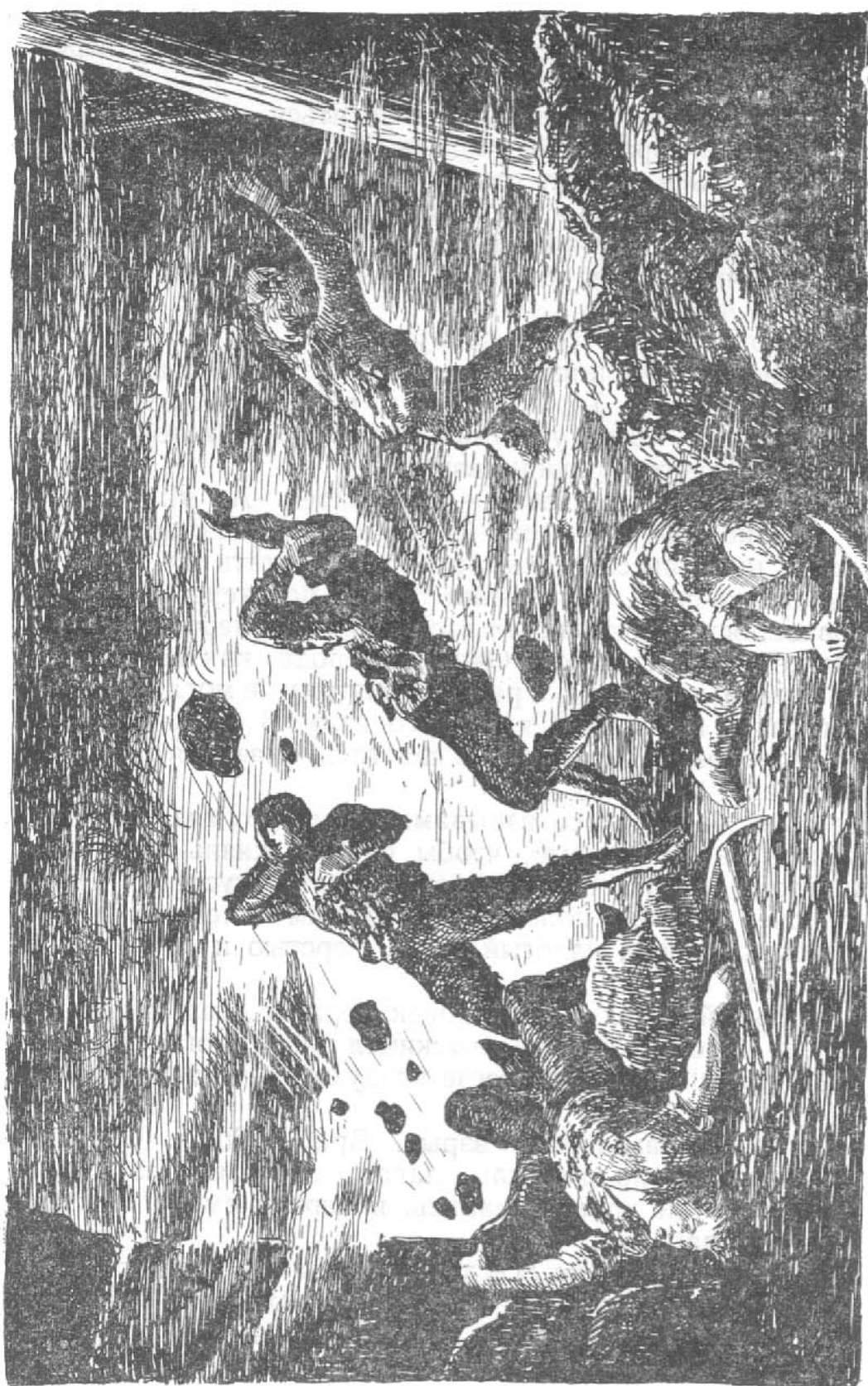
Взрывозащита горных выработок

*Подписано в печать 28.01.2002. Формат 60х90/16: Усл. печ. листов 17,375.
Бумага PolSpeed. Тираж 300. Заказ 262.*

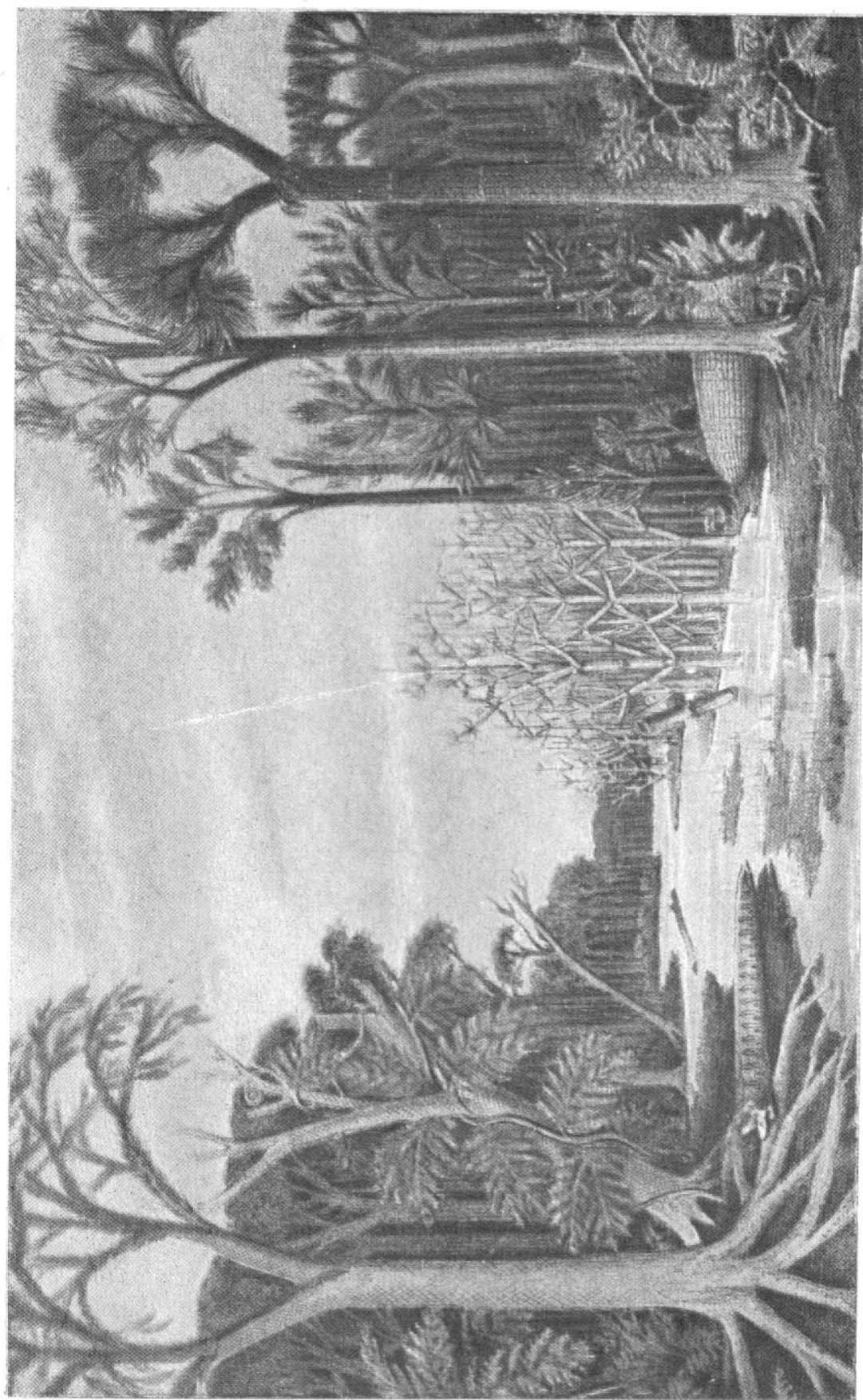
*Отпечатано в цифровой лазерной типографии ООО «НОРД Компьютерс».
Адрес: г. Донецк, б. Пушкина 23. Тел: (062) 342-14-82*



Угольная шахта в Донбассе



Взрывы гремучего газа в шахтах губили много шахтерских жизней



Воображаемый ландшафт каменноугольного периода

