

622.235

С 80

В.И.СТИКАЧЕВ

СОЗДАНИЕ
ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНОЙ
СРЕДЫ ПРИ ВЗРЫВНЫХ
РАБОТАХ



ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
Глава I. Оценка степени опасности взрывных работ	
§ 1. Причины воспламенения метана и угольной пыли	5
§ 2. Изменение концентрации метана	7
§ 3. Особенности газовыделения при выбросах угля, породы и газа	17
§ 4. Выделение газа в шурфы и скважины	21
§ 5. Влияние угольной пыли на воспламеняемость метана	23
§ 6. Источники воспламенения газо-пылевоздушных смесей	24
Глава II. Водораспылительные завесы	
§ 7. Способ создания водораспылительных завес	29
§ 8. Динамика распыления воды	31
§ 9. Предохранительное действие водораспылительных завес	34
§ 10. Условия применения водораспылительных завес в шахтах	44
§ 11. Форсуночная водяная завеса длительного действия	47
Глава III. Воздушно-механическая пена	
§ 12. Характеристика пены	59
§ 13. Пеногенераторы	61
§ 14. Влияние свойств воды и скорости воздушного потока на пенообразование	64
§ 15. Предохранительная (инертная) среда	68
§ 16. Технология создания предохранительной среды в шахтах	74
Глава IV. Ингибиторы	
§ 17. Характеристика ингибиторов	82
§ 18. Предохранительная среда из порошкообразных ингибиторов	84
§ 19. Взрывоподавляющие концентрации фреонов	88
Глава V. Гидрозабойка	
§ 20. Комбинированная забойка	91
§ 21. Водостойкость взрывчатых материалов	96
§ 22. Полиэтиленовые ампулы	99
§ 23. Другие способы гидрозабойки	102
Глава VI. Выбор способов создания предохранительной среды в шахтах	
§ 24. Классификация выработок по опасности взрывных работ	106
§ 25. Выбор безопасных параметров взрывных работ	106
§ 26. Сравнительная оценка способов создания предохранительной среды	110
Литература	111

Стигачев Василий Иосифович

СОЗДАНИЕ ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ ПРИ ВЗРЫВНЫХ РАБОТАХ

Редактор издательства *Т. И. Корзина*

Техн. редактор *З. А. Болдырева*

Корректор *Э. А. Ляхова*

Сдано в набор 5 XI 1971 г.

Подписано в печать 10/II 1972 г.

T-03741

Формат 60×90/16

Печ. л. 7,0

Уч.-изд. л. 7,2

Бумага № 2

Индекс 1-3/1

Заказ 628/3551-9 Тираж 4300 экз. Цена 36 коп.

Издательство «Недра», Москва, К-12, Третьяковский проезд, д. 1/19.

Московская типография № 6 Главполиграфпрома

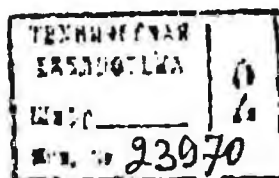
Комитета по печати при Совете Министров СССР

Москва, Ж-88, 1-й Южно-портовый пр., 17.

74 2005
В. И. СТИКАЧЕВ

622.235
С 80

СОЗДАНИЕ
ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНОЙ
СРЕДЫ ПРИ ВЗРЫВНЫХ
РАБОТАХ



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НЕДРА»
Москва 1972

вс
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100

622.233 23970	
С-80	
Стишков В. Ч.	
Создание предо-	
ражительно-	
содн. и т.п.	

114 стр.
исследо-
ныт при-
редохра-
в шах-
ны усло-
х завес,

Книга должна быть возвращена не
позже указанного здесь срока

Количество предыдущих выдач _____

--	--

и-
и-
ы-
их
а-
а-
е-
ет
и,
п-
в.

ВВЕДЕНИЕ

Директивами XXIV съезда КПСС по пятилетнему плану развития народного хозяйства СССР на 1971—1975 гг. наряду с общим увеличением объема добычи угля до 685—695 млн. т предусмотрено завершить техническое перевооружение угольной промышленности. Комплексная механизация и автоматизация тяжелых работ позволят повысить производительность труда примерно на 40%, значительно улучшить условия труда шахтеров и повысить безопасность работ.

Производство взрывных работ в угольной промышленности, как известно, связано с определенными опасностями. Основной из них является возможность воспламенения метана и угольной пыли. В последние годы для предотвращения воспламенения газо-пылевоздушной смеси при взрывных работах стали применять различные способы создания предохранительной среды: водораспылительные и форсуночные завесы, воздушно-механическая пена, заполнение шпуров или скважин водой, распыление порошкообразных ингибиторов (пламегасящих солей) и др.

Примером эффективного использования предохранительной среды являются водораспылительные завесы, широко применяющиеся при взрывных работах в подготовительных и нарезных выработках. Внедрение их в шахтах, опасных по газу или пыли, в сочетании с другими организационно-техническими мероприятиями значительно повысило безопасность взрывных работ и улучшило санитарно-гигиенические условия труда шахтеров. Применение водораспылительных завес позволило увеличить максимальное время замедления электродетонаторов короткозамедленного действия в шахтах, опасных по газу или пыли, и допустить мощные предохранительные ВВ в выработки, проводимые только по породе, где имеется выделение метана.

С 1967 г. внедряется способ создания предохранительной среды в призабойном пространстве выработки за счет использования воздушно-механической пены. Этот способ обладает более эффективным защитным действием против воспламенения метана по сравнению с водяными завесами.

Промышленная проверка порошкообразных ингибиторов показала, что предварительное распыление некоторых пламегасящих

солей во взрывчатой метано-воздушной смеси предотвращает воспламенение ее от взрыва свободноповешенного заряда непридохранительного ВВ.

Особое внимание в дальнейшем должно быть уделено способам создания предохранительной среды длительного действия, которая исключает воспламенение метана и угольной пыли до и после взрывания зарядов, в том числе и от выгорающих зарядов ВВ. Для создания такой среды можно использовать специальные форсуночные водяные завесы длительного действия и воздушно-механическую пену, подаваемую в забой выработки до и во время взрывания зарядов. Можно утверждать, что применение предохранительной среды длительного действия в сочетании с устойчиво детонирующими сплошными зарядами ВВ и искробезопасными взрывными приборами позволит надежно предотвращать вспышки и взрывы газо-пыле-воздушных смесей при производстве взрывных работ в особо опасных условиях.

В настоящей книге изложены результаты работ МакНИИ по изысканию и исследованию способов создания предохранительной среды при взрывных работах. Основные из этих исследований выполнены под руководством автора. Кроме того, в книге приведены данные об опыте применения водяных завес, гидрозабойки и воздушно-механической пены в угольных шахтах, опасных по газу или пыли.

Автор выражает благодарность сотрудникам МакНИИ, принимавшим участие в сборе материалов, на основании которых написана книга: кандидатам технических наук В. М. Мегере, Н. Р. Шевцову, М. К. Песоцкому, П. И. Кушнерову, инженерам Ю. В. Кудинову, П. Н. Зубкову, Н. П. Василянскому, П. А. Воронину, М. М. Арабев, А. Б. Аялспмиину, А. Б. Михайлову и В. Н. Бабшккому, а также кандидатам технических наук Ф. М. Галаджию, Б. И. Вайнштейн и В. С. Матюнину за ценные замечания и пожелания по улучшению содержания книги.

Глава I

ОЦЕНКА СТЕПЕНИ ОПАСНОСТИ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ

§ 1. Причины воспламенения метана и угольной пыли

Предотвращение воспламенения метана и угольной пыли согласно требованиям Единых правил безопасности при взрывных работах осуществляется за счет соблюдения пылегазового режима, исключая образование опасной среды перед взрыванием зарядов, применения предохранительных ВВ и внутренней забойки.

Для оценки способов обеспечения безопасности взрывных работ и выбора эффективных методов создания предохранительной среды для различных условий взрывания [1] проведен анализ случаев воспламенения и взрывов метана и угольной пыли на шахтах основных бассейнов Советского Союза, в том числе по Донбассу, включая комбинат Ростовуголь, за последние 19 лет (по 1968 г. включительно), по Кузбассу — за 23 года, по Караганде — за 7 лет, по комбинатам Воркутуголь, Интауголь, Сахалинуголь, Грузуголь и Укрзападуголь — за 11 лет.

Полученные в результате анализа данные о распределении вспышек и взрывов метано-воздушной или метано-пылевоздушной смесей по типам выработок приведены в табл. 1.

Из данных табл. 1 видно, что большинство аварийных случаев произошло в подготовительных выработках, проводимых по углю или по углю и породе (смешанные забой). Поэтому для повыше-

Таблица 1

Выработки	По основным бассейнам, %		По Донбассу, %		По Кузбассу, %	
	вспышки и взрывы	взрывы	вспышки и взрывы	взрывы	вспышки и взрывы	взрывы
Подготовительные (угольные и смешанные забой)	54,8	69,5	69,2	92,2	40,6	48,0
Очистные	23,3	9,8	20,0	3,9	22,8	14,8
Проводимые только по породе	11,5	8,7	9,6	3,9	17,0	7,4
Углеспускные печи и скважины	6,1	10,8	—	—	16,3	26,2
Выработки не установлены	4,3	1,2	7,2	—	3,3	3,7

ния безопасности взрывных работ возникла необходимость в разработке способов создания предохранительной среды в первую очередь для этих выработок.

Данные о времени образования опасной концентрации метана при взрывании зарядов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Время образования опасной концентрации метана	По основным бассейнам, %	По Донбассу, %	По Кузбассу, %
До взрывания зарядов	47,7	50,0	57,8
После или во время взрывания зарядов .	34,8	35,3	22,0
В том числе после первого приема при многоприемном взрывании	13,5	23,8	8,6
Время не установлено	17,5	14,7	20,2

Приведенные в табл. 2 данные позволяют сделать вывод, что загазирование призабойного пространства в большинстве случаев возникает до взрывания зарядов. Объясняется это отставанием вентиляционных труб от забоя, остановками вентиляторов местного проветривания и недостаточным количеством подаваемого воздуха в трудно проветриваемые забои.

Опасные содержания метана после взрывания зарядов образуются в результате интенсивного газовыделения из отбитого взрывом угля и из вновь обнаженной поверхности забоя. Такие случаи имеют место прежде всего в тупиковых выработках, забои которых в настоящее время относят к особо опасным.

При многоприемном способе взрывания вспышки и взрывы метано-воздушной смеси возникают, когда время проветривания забоя перед взрыванием зарядов последующей очереди недостаточное, чтобы разгазировать забой, т. е. снизить содержание метана до неопасных концентраций.

Основными источниками воспламенения опасной среды (табл. 3) являются продукты детонации, прорывающиеся в загазированное пространство, а также выгорающие заряды ВВ. На долю этих источников приходится подавляющее число аварий. Несмотря на то, что приведенные данные нельзя считать абсолютно точными, они характеризуют недостаточный уровень предохранительности широко применяемых ВВ IV класса и сравнительно высокую степень опасности выгорания зарядов в шпурах.

Все проанализированные аварийные случаи по основным бассейнам в зависимости от их характера распределяются, как показано в табл. 4.

Из приведенных данных видно, что примерно четвертая часть рассматриваемых случаев воспламенения метана переходила во взрывы. В последние годы в связи с сокращением общего количества воспламенений метано-воздушных смесей при взрывных ра-

Таблица 3

Источники воспламенения	Воспламенение (вспышки) метана, %	Взрывы мета- но-воздушной или мета- пылевоздушной смеси, %
Продукты детонации зарядов ВВ	26,0	47,8
В том числе:		
взрыв открытого, частично обнаженного или пере- сеченного трещинами в шпуре заряда	16,4	28,3
отсутствие или недостаточная длина забойки	7,2	12,0
малая линия наименьшего сопротивления	Менее 1	4,3
другие причины (непредохранительное ВВ, выброс патрона-боевика из шпура, выброс пламени из шпура при взрывании	1,7	3,2
Выгорание ВМ	32,6	18,5
Искрение во взрывной сети и искрение при ударе ле- счаника о песчаник	2,8	10,9
Источники не установлены	38,5	22,8

Таблица 4

Бассейн	Вспышки газа, %	Взрывы газа, %	Взрывы мета- но-пылевоз- душной смеси, %
Донецкий	58,0	31,5	10,5
Кузнецкий	76,9	19,8	3,3
Карагандинский	91,7	6,6	1,7
По всем проанализированным бассейнам	72,4	22,4	5,2

ботах случаев взрывов стали редкими. За период с 1966 по 1969 г. включительно относительное число взрывов метана и угольной пыли на 100 млн. т угля по сравнению с предыдущим пятилетием, а также с 50-ми годами уменьшилось примерно в четыре раза в результате широкого внедрения водяных завес, способных предотвращать воспламенение опасной среды от всех источников воспламенения (кроме выгорания), а также внедрения ВВ повышенной предохранительности по углю на пластах с высоким газовыделением и сокращения объема взрывных работ в особо опасных по газу угольных забоях. Положительную роль сыграли улучшение качества промышленных ВМ, повышение знаний у персонала, связанного с производством взрывных работ, и соблюдения ряда других организационно-технических мероприятий.

§ 2. Изменение концентрации метана

Факторы, влияющие на газовыделение

Изменение концентрации метана в призабойном пространстве выработки зависит, как известно, от многих факторов и определяется главным образом газоносностью пласта или породы, ско-

ростью разрушения взрываемого массива, количеством отбиваемой горной массы и степенью ее дробления.

Газоносность пластов, как известно, колеблется в широких пределах и часто достигает нескольких десятков кубических сантиметров на 1 г горючей массы. Краткая характеристика шахтопластов, на которых проводилось изучение газовыделения, приведена в табл. 5, из которой видно, что газоносность их колебалась от 14 до 32 см³/г горючей массы.

Таблица 5

Пласт (шахта)	Горизонт, м	Мощность пласта, м	Выход легучих, %	Газоносность пласта, см ³ /г горючей массы
Дерезовка («Красный Профинтерн»)	537	1,45—2,40	13—15	28—30
Наталья («Коммунист-Новая»)	361—385	1,50—1,52	5—6	14—15
Дроновский (им. XVII Партсъезда)	385	0,94—1,01	3,0—5,5	30—32

Содержание газа в призабойной части пласта перед каждым взрыванием бывает различным. Это объясняется частичной дегазацией угольного массива по трещинам, образующимся под действием сил предыдущего взрыва и горного давления, и подтверждается данными наборов кернов угля из призабойной части массива откаточного штрека пласта Дерезовка-Запад шахты «Красный Профинтерн» (табл. 6). Из приведенных данных видно, что

Таблица 6

Глубина набора кернов, м	Давление газа, атм	Содержание метана, см ³		Содержание этилена, см ³	
		на 1 г угля	на 1 г горючей массы	на 1 г угля	на 1 г горючей массы
4,0	6,05	12,07	13,08	0,25	0,27
1,0	0,9	4,59	4,76	0,22	0,23
2,0	1,2	2,65	5,83	0,10	0,22
3,0	1,5	4,81	6,76	0,16	0,22
0,8	0,7	3,57	3,72	0,18	0,19
1,8	5,3	11,00	11,45	0,24	0,25
2,8	1,7	6,74	6,96	0,21	0,22
3,8	3,4	5,85	7,27	0,14	0,17
0,8	2,3	7,61	7,84	0,19	0,20
1,8	4,7	10,82	11,13	0,19	0,20
2,8	5,8	12,15	12,51	0,18	0,19
3,8	6,15	12,43	12,80	0,17	0,18

газоносность призабойной части пласта во время взрывных работ колеблется в широких пределах.

Темп газоотдачи отбиваемых взрывным способом угля и породы зависит, как указывалось ранее, от скорости их разрушения. При существующих параметрах шпурового метода взрывания [2]

сдвигение массива обычно начинается раньше, чем через 10 мсек. Разрушение горной массы взрывом происходит в основном за 15—60 мсек, а отброс оконечного шнура массива с перемещением части его на несколько метров и дополнительное дробление делятся сотнями миллисекунд. Так, при сотрясательном взрывании на пласте Дерезовка шахты «Красный Профиитерн» первые куски угля отбрасываются взрывом на расстояние 5 м через 160—280 мсек, а последние — через 412—1050 мсек после подачи импульса тока во взрывную сеть. Средняя скорость движения угля в этих случаях при взрывании зарядов аммонита ПЖВ-20 в шпурах длиной 2 м на расстоянии 5 м от забоя составляет 21,1—31,3 м/сек [3].

Дробление угольного и породного массива обычно начинается через 8—15 мсек после взрывания зарядов. Однако основное дробление отбитой горной массы происходит за счет соударения кусков при отбросе и ударах их о бока и почву выработки, что имеет место через десятки и сотни миллисекунд после начала сдвигения отбиваемого горного массива.

Метод изучения газовыделения

Изучение газовыделения производилось в тупиковых выработках на газоносных пластах и главным образом на пластах, опасных по внезапным выбросам угля или газа, а также при взрывании зарядов по выбросоопасным породам. Для изучения газовыделения набирались пробы рудничного воздуха в автоматические пробонаборники, устанавливаемые на разных расстояниях от забоя по пути движения вентиляционной струи, с последующим анализом этих проб в газоаналитической лаборатории. Кроме того, измерялась концентрация метана в забое выработки до взрывания и после производства взрывных работ.

Пробы газа набирались в интервале времени от 50 мсек до 12 мин включительно после подачи взрывного импульса тока во взрывную сеть. При этом пробы, набираемые через десятки и сотни миллисекунд после начала взрыва зарядов, характеризуют изменение содержания состава рудничной атмосферы в призабойном пространстве выработки в процессе взрывных работ и при отбросе угля. Этот период времени представляет особый интерес с точки зрения возможности воспламенения метана продуктами детонации в условиях применения электродетонаторов короткозамедленного действия.

Пробы газа, набираемые через секундные и минутные интервалы времени после взрывания зарядов, характеризуют изменение состава рудничного воздуха при выделении газа из отбитого или выброшенного угля и породы, а также из вновь обнажаемого забоя. Воспламенение газо-воздушной смеси в указанный относительно длительный промежуток времени может произойти от выго-

рающего заряда ВВ и искрения при ударах выбрасываемого песчанника о песчанник и о металлические предметы.

Для наблюдения за изменением состава рудничной атмосферы при производстве взрывных работ, в том числе после сотрясательного взрывания, применялись поршневые пробонаборники (ПП).

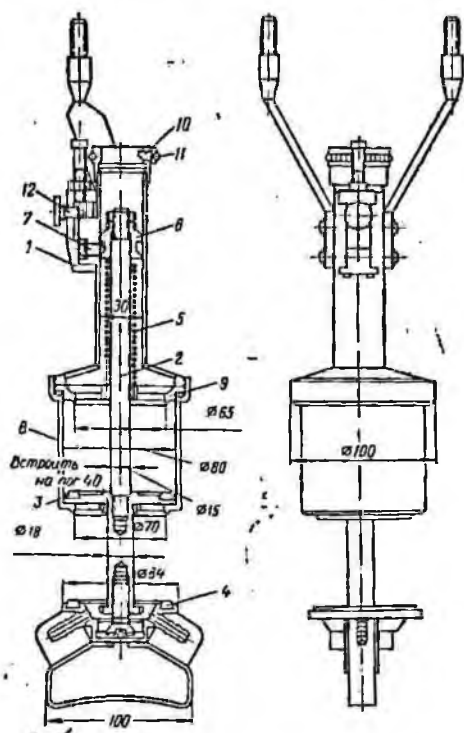


Рис. 1. Поршневой пробонаборник газа

Кроме того, для уточнения закономерности газовыделения использовались три типа групповых приборов, предназначенных для отбора проб газа через секундные и минутные интервалы времени после взрывания зарядов ВВ.

Поршневой пробонаборник ПП, применяемый для наблюдения за изменением состава рудничной атмосферы, обеспечивает набор пробы газа через миллисекундные интервалы времени после подачи импульса тока во взрывную сеть. В основе его действия лежит принцип отсечения небольшого объема окружающего воздуха. При этом набираемая проба захватывается перемещающимися клапанами и надежно изолируется от окружающей атмосферы.

Поршневой пробонаборник (рис. 1) приводится в действие при помощи специального включающего устройства (рис. 2). Взрывом

электродетонатора 1 (рис. 2), помещенного внутри взрывобезопасного включающего устройства, перебивается жестяная полоска 2 и ударник 3, двигаясь под действием пружины 4, перемещает гашетку 1 (рис. 1) в крайнее верхнее положение; это дает возможность штоку пробонаборника 2 вместе с клапаном 3 и узлом 4 двигаться под действием сжатой пружины 5 вниз. При начальном движении штока упорная втулка 6 отжимает в полость гашетки 7. При дальнейшем движении штока под действием энергии пружины и силы его инерции резиновые прокладки, имеющиеся в поршневом клапане 3 пробонаборника и клапане узла 4, сжимаются, соударяясь об острые кромки корпуса 8 и нижнего седла 9 поршневого клапана. В этот момент упорная втулка отжимает своей скошенной частью фиксатор 10, который в дальнейшем под действием пружины 11 заходит в паз, имеющийся на упорной втулке. Благодаря этому действию шток фиксируется в крайнем нижнем положении и резиновые прокладки остаются сжатыми, чем и достигается изоляция пробы от окружающей атмосферы.

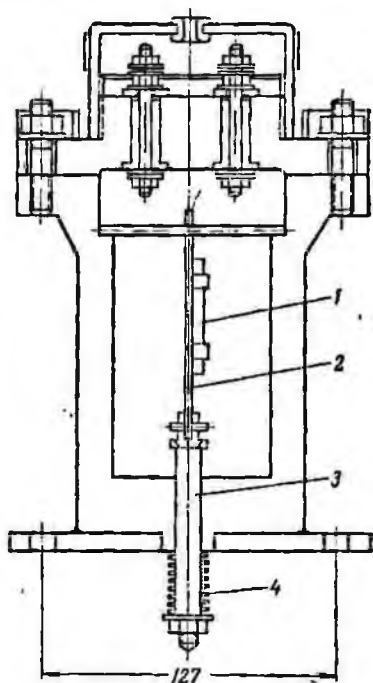


Рис. 2. Включающее устройство поршневого пробонаборника

Перед установкой прибора в шахте у места набора пробы гашетка 1 перемещается в крайнее нижнее положение, где фиксируется предохранительным винтом 12. Включающее устройство со вставленным в него электродетонатором требуемого замедления соединяется с колбой.

Поршневые пробонаборники испытывались на время срабатывания и герметичность. Результаты испытания показали, что длительность времени набора самой пробы составляет 7—8 мсек, а общий период времени от момента взрыва электродетонатора до полного срабатывания прибора равняется 23 мсек. Время набора пробы газа регулируется использованием в качестве запускающего элемента электродетонаторов различных ступеней замедления, которые соединяются в общую взрывную сеть и взрываются от одного импульса взрывной машинки вместе со шпуровыми зарядами.

Вместе с поршневыми пробонаборниками для набора проб газа

применялись групповые автоматические приборы секундного и минутного действия (ГАП, ПРВС-10 и АП-4). Приборы ГАП-6 и ГАП-8 позволяли набирать шесть или восемь проб рудничного воздуха через секундные интервалы времени в результате быстрой потери заранее созданного вакуума в металлических колбах. Включающий механизм этого прибора позволял автоматически в заданное время включать в действие пробонабирающие колбы и изолировать набранные пробы газа от окружающей атмосферы. Приборы ПРВС-10 [4] также секундного действия предназначены для набора десяти проб газа за счет перемещения поршней в пробонаборниках. В основу действия минутного автоматического прибора АП-4 положено истечение воды из четырех бюреток и заполнение освободившегося в заданное время объема рудничным воздухом.

Образование взрывоопасных концентраций метана

Состав рудничной атмосферы в призабойном пространстве выработки при взрывных работах и внезапных выбросах изменяется за счет увеличения концентрации метана, этана и углекислого газа и уменьшения кислорода.

Следует отметить, что при изучении изменения состава газов сразу после взрывания зарядов пробы у вновь обнажаемого забоя и в массиве пород и угля, оконтуренного шпурами, не набирались. Это объясняется не только сложностью набора проб газа в этой зоне при производстве взрывных работ, но и высокой вероятностью образования невзрывчатой атмосферы даже при интенсивном выделении метана. Последнее связано с выбрасыванием в эту зону большого количества остывающих продуктов взрыва, дающих на 1 кг ВВ более 600 л паров воды, двуокиси углерода, азота и несколько сотен граммов мелкодиспергированной соли хлористого натрия или других солей, а также нахождением в атмосфере с малым содержанием кислорода большого количества взвешенной пыли [5].

Отсутствие взрывоопасной среды во вновь образуемой зоне в миллисекундные интервалы времени после взрывания зарядов подтверждается практикой безопасного применения короткозамедленного взрывания в шахтах, опасных по газу, и результатам экспериментальных работ, изложенных ниже.

В процессе изучения изменения состава рудничной атмосферы в призабойном пространстве угольных, смешанных и породных забоев различных выработках четырех шахт при производстве взрывных работ набрано автоматическими пробонаборниками более 2000 проб газа, в том числе за период времени от 0,05 до 0,52 сек — более 300 и в секундные интервалы — более 1000 проб. Данные анализов проб газа показывают, что за время от 0,05 до 0,27 сек после взрывания шпуровых зарядов по углю, в том числе при наличии спровоцированных выбросов угля и газа, концентра-

ция метана не превышает 1,9%. В интервале времени от 0,27 до 0,52 сек содержание метана заметно возрастает. Через 0,52 сек после взрывания зарядов, инициируемых электродетонаторами мгновенного действия, концентрация метана составляет 2,5 и 4,2%. Такое содержание метана при наличии небольшого количества взвешенной взрывчатой угольной пыли может привести к образованию взрывоопасной среды в призабойном пространстве выработки [6]. Однако такая опасная среда образуется в отдельных случаях и в ограниченном объеме.

Таким образом, при отсутствии местных скоплений метана до взрывания зарядов взрывчатые концентрации метана вблизи забоя выработки при производстве взрывных работ по углю не образуются в течение 0,25—0,27 сек после подачи импульса тока во взрывную сеть. За более длительные промежутки времени, исчисляемые секундами, концентрация метана в призабойном пространстве продолжает увеличиваться и в некоторых случаях в подготовительных выработках, проводимых по весьма газоносным пластам, бывает взрывчатой.

Данные о незначительных концентрациях метана в первый период времени после производства взрывных работ по углю были приведены ранее [7, 3], они подтверждаются также и другими исследованиями [2, 8, 9].

В последнее десятилетие на некоторых глубоких шахтах Донбасса имели место выбросы породы (песчаника), сопровождавшиеся интенсивным выделением метана [10]. Для оценки опасности взрывных работ по выбросоопасным песчаникам на шахте «Петровская-Глубокая» в Донбассе были проведены наблюдения за изменением состава рудничной атмосферы. Данные о содержании метана вблизи забоя выработки, приведенные в табл. 7, показывают, что в пробах газа, набранных через 110 и 130 мсек после подачи импульса тока во взрывную сеть, концентрация метана обычно не превышает 1%.

Через 175 мсек после подачи импульса тока во взрывную сеть концентрация метана в 3 из 26 набранных проб оказалась взрывчатой, в одном случае — составляла 10,6%. Такой высокой концентрации метана в рассматриваемый период при взрывании зарядов по углю, а также на пластах, подверженных внезапным выбросам угля и газа, не отмечалось. Очевидно, интенсивная газоотдача в это время связана с быстрым дроблением выбросоопасного песчаника до мелких фракций после взрыва шпуровых зарядов скального аммонита № 1 прессованного и большой скоростью отброса породы по выработке.

Еще более высокая концентрация метана отмечалась через 275 мсек; в 6 из 24 проб газа она находилась в пределах от 9,1 до 56%. Частота образования взрывчатых или горючих концентраций метана в этот период времени в потоке летящего песчаника составляла около 23%.

Через 525 мсек после начала взрывания зарядов взрывчатая

Таблица 7

Расстояние от забоя до пробонаборников, м	Вес отбитой и выброшенной породы, т	Концентрация метана, %				Количество проб газа	
		до взрыва-ния	после подачи тока во взрывную сеть через, мсек				
			110 и 130	175	275		525
Людской ходок							
1,5—6,7 3,5	24—145 52	0,04—0,15 0,07	0,07—0,75 —	0,02—1,04 4,9 и 10,6	0,06—0,57 9,1 и 13,5	0,06—0,73 —	49 5
Вентиляционный ходок							
1,0	46	0,14	—	—	—	3,6	2
Конвейерный бремсберг							
0,7 1,2	66 157	0,06 0,04	—	—	2,56 и 56 1 и 29,9	—	3 3
1,2 и 1,3 1,5 и 5,8	88 и 116 98 и 204	0,07 0,7	— 2,67	— 0,23 и 0,29	10,6 и 55 —	—	3 6
Вспомогательный бремсберг							
1,5 и 5,8 1,5	24 и 152 72	0,03 и 0,1 0,06	0,69 1,65	0,08 и 0,59 0,12	0,06 и 0,49 —	0,13 и 0,2 —	3
1,5 и 2,0	54 и 68	0,03 и 0,07	—	4,8 и 0,83	—	13,3	5

концентрация метана (13,3%) была отмечена в одной из семи проб. Следует отметить, что в большинстве пробонаборников, пробы которых набирались в это время и были признаны негодными, попадало большое количество сильно измельченного песчаника. Следовательно, в указанное время происходило отбрасывание большой массы разрушенной породы.

Анализ данных табл. 7 показывает, что максимальная концентрация метана была зафиксирована в пробонаборниках, расположенных на расстоянии 0,7—1,2 м от забоя. В большинстве же случаев высокая концентрация метана в миллисекундные интервалы времени имела место после взрываний зарядов, сопровождавшихся выбросами песчаника. Следует также отметить, что при близком расположении пробонаборников, набравших пробы газа в одни и те же интервалы времени, зарегистрированы совершенно разные содержания метана (29,9 и 1,0; 56 и 2,56; 4,8 и 0,83%). Это подтверждает возможность образования опасных метано-воздушных смесей в миллисекундные периоды времени после подачи импульса тока во взрывную сеть не по всему сечению выработки, а только в небольших объемах призабойного пространства.

Изменение концентрации метана на различных расстояниях от забоя

Для установления изменения концентрации метана на различных расстояниях от забоя были проведены наблюдения на пласте Наталья шахты «Коммунист-Новая». Результаты анализов проб, набранных через различные интервалы времени после взрывания зарядов в шпурах, показывают (табл. 8), что содержание метана на расстоянии 0,8—1,2 м от забоя увеличивается за более ранние промежутки времени, чем на расстоянии 6 м, а на расстоянии 25—30 м концентрация метана в течение нескольких секунд почти не изменяется.

Таблица 8

Место наблюдений	Расстояние от забоя до пробы, м	До взрыва	Концентрация метана, %						Количество отбитого угля, т	
			после взрыва через, сек							
			1-2	2,5-5,0	6,0-10	11-15	16-20	21-25		26-30
11-й северный откаточный штрек	0,8	0,2	7,0	2,8	1,8	—	—	—	—	15
	1,2	0,3	0,6	2,5	12,0	14,0	14,0	14,0	—	25 (выброс)
	1,0	0,4	2,6	—	5,8	—	—	—	—	13
	1,0	0,8	—	—	1,1	1,2	11,0	4,8	13,0	13
11-й южный откаточный штрек	6	0,4	0,1	1,8	—	4,0	—	—	—	13
	6	0,4	—	1,0	—	1,5	3,6	—	—	13
	6	0,5	0,5	—	2,1	—	—	—	—	15
	6	0,4	2,6	0,5	1,7	—	1,7	1,1	—	16
11-й северный откаточный штрек	30	—	—	0,9	0,8	0,7	—	—	—	15
	25	0,5	—	—	—	0,7	1,0	1,0	—	16
	25	0,3	0,4	—	1,3	0,5	0,6	1,2	—	15
	25	0,3	—	0,6	0,3	0,0	0,9	1,0	1,1	13

Исходя из этого можно утверждать, что возможным местом вспьшки метана через секундные интервалы времени после взрывания зарядов в шпурах может быть только пространство выработки, непосредственно примыкающее к забою.

Общие особенности изменения состава рудничной атмосферы

Общая закономерность газовыделения в призабойном пространстве выработки после взрывных работ на газоносных пластах характеризуется следующими особенностями (рис. 3).

Концентрация метана в призабойном пространстве выработки при взрывных работах до взрывоопасных пределов, а также при выбросах угля и газа увеличивается за время более чем 270 мсек после подачи импульса тока во взрывную сеть. Содержание ме-

тана может повышаться в течение длительного периода времени, который во многих случаях исчисляется десятками секунд. При существующих параметрах проветривания подготовительных работ взрывоопасные концентрации метана могут удерживаться в течение нескольких минут, а в отдельных случаях до 10 мин после производства взрывных работ.

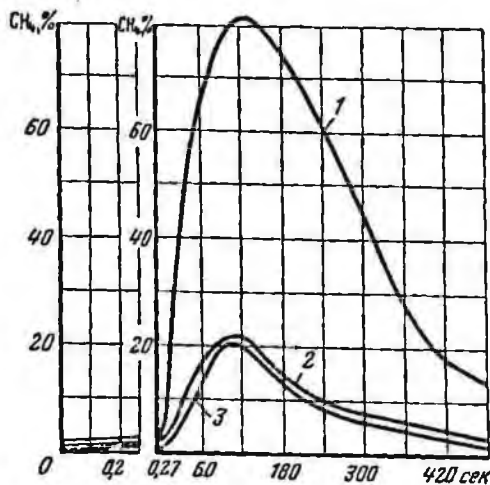


Рис. 3. Изменение концентрации метана в призабойном пространстве выработки:

1 — при сотрясательных взрывах с выбросами угля; 2 — при сотрясательных взрывах без выбросов угля; 3 — при взрывах на газоносных пластах, не опасных по выбросам

Наибольшее количество метана накапливается в течение 0,5—4 мин после взрыва зарядов. В первый период времени, исчисляемый несколькими секундами, концентрация метана в призабойном пространстве выработки лишь в отдельных случаях превышает 2%. Это объясняется тем, что за несколько секунд повышенные содержания метана образуются не по всему сечению выработки, а в отдельных местах его.

Состав рудничной атмосферы в призабойном пространстве выработки после взрывных работ изменяется также за счет увеличения концентрации углекислого газа, уменьшения содержания

кислорода, выделения незначительного количества этана и образования ядовитых газов — окиси углерода и окислов 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 течение сравнительно длительного периода времени (до 10 мин), но лишь в отдельных случаях она составляет менее 18—19%.

Перечисленные особенности изменения состава рудничной атмосферы являются основными и наиболее важными для безопасности ведения взрывных работ на газоносных пластах, в том числе на пластах, опасных по выбросам угля или газа.

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 через минутные или по крайней мере через секундные интервалы времени после взрыва. В первые же миллисекундные периоды времени проветривание не снижает со-

держания метана. Так, если количество воздуха, подаваемого в забой, составляет $60 \text{ м}^3/\text{мин}$, то за 100 мсек поступит всего $0,1 \text{ м}^3$. Ясно, что такое количество воздуха не сможет практически снизить концентрацию метана.

§ 3. Особенности газовой выделення при выбросах угля, породы и газа

Общая закономерность газовой выделення в призабойном пространстве тупиковой выработки после выбросов угля и газа характеризуется следующими особенностями (рис. 3).

В течение 2 сек после подачи импульса тока во взрывную сеть характер изменения содержания метана при выбросах угля является таким же, что и после сотрясательного взрывания при отсутствии выбросов.

Значительное увеличение концентрации метана начинается обычно через несколько первых секунд и продолжается в течение нескольких минут. При выбросах угля интенсивностью около 100 т и более концентрация метана может достигать $70\text{--}85\%$; в этом случае вентиляция нарушается и тупиковая часть выработки обычно загазирывается.

Содержание кислорода в призабойном пространстве выработки даже при малой интенсивности выбросов значительно уменьшается и может составлять менее 10% . Кроме того, при интенсивных выбросах происходит опрокидывание вентиляционной струи с движением свежего воздуха в обратную сторону на несколько сотен метров. Поэтому мастер-взрывник при производстве сотрясательного взрывания должен находиться на свежей струе воздуха на расстоянии не менее 600 м от взрывающегося забоя. Для устранения возможности воспламенения метано-воздушной смеси необходимо применять эффективные способы создания предохранительной среды, отключать электроэнергию в призабойном пространстве выработки и соблюдать другие меры предосторожности.

Изменение состава рудничной атмосферы при выбросах песчанника и газа характеризуется специфическими особенностями, не свойственными выбросам угля и газа.

Анализ данных о концентрации метана при выбросах породы, полученных через $30\text{--}40 \text{ мин}$ после взрывания зарядов на расстоянии $10\text{--}20 \text{ м}$ от взрывающегося забоя (табл. 9), показывает, что с увеличением веса выброшенного песчанника увеличивается и количество случаев образования в призабойном пространстве выработок взрывчатых концентраций метана. Так, при выбросах породы до 100 т концентрации метана более 4% зарегистрированы в 76 из 456 случаев, что составляет $16,7\%$, а при интенсивности их более 400 т этих случаев было уже $38,6\%$.

Из 1376 выбросов песчанника и газа не менее чем в 380 имелась опасная концентрация метана в призабойном пространстве выработки через сравнительно большие промежутки времени ($30\text{--}40 \text{ мин}$) после производства взрывных работ. Однако незначительное содержание метана в остальных случаях еще не является по-

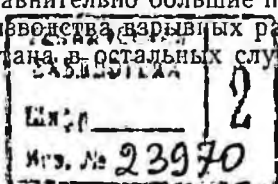


Таблица 9

Сила выброса пеллинка, т	Общее количество выбросов	Распределение выбросов по содержанию металла									
		До 1%		1—2%		2—4%		более 4%		не установлено	
		количество	%	количество	%	количество	%	количество	%	количество	%
До 100	456	179	39,2	100	21,9	80	17,5	76	16,7	21	4,7
100—400	782	231	30,3	132	17,3	123	16,1	243	31,0	33	4,5
Более 400	158	22	13,9	24	15,2	36	22,8	61	38,6	16	9,5

Таблица 10

Место наблюдений	Расстояние от забора до пробы пеллинка, м	Вес разрушенной породы, т	Количество поступающего воздуха, м ³ /мин	Концентрация металла, % после взрывания через, сек													
				1—5		6—10		11—20		21—40		41—60		61—120		121—240	
				до взрыва	после	до взрыва	после	до взрыва	после	до взрыва	после	до взрыва	после	до взрыва	после	до взрыва	после
Копейский бр.-сберг	25	157	143	0,05	0,2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	35	66	144	0,03	—	0,52	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	32	88	144	0,03	10,5	8,0	1,22	16,0—20,0	1,18	0,99	1,0—1,26	1,06—3,2	1,08	1,23—1,6	1,49—1,7		
	32	116	144	0,11	—	0,19—0,21	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Вспомогательный бр.-сберг	35	98	140	0,11	0,36	—	1,4	0,25—0,32	1,74	1,06—3,10	5,10—7,35	5,2	4,08—6,7	3,2—4,9	3,57		
	32	88	129	0,07	0,17	0,04	—	0,01—0,11	0,42	1,15—3,5	—	—	—	—	—		
Ледской ходок	15	145	85	0,11	0,42—1,84	1,25—1,4	1,46	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	22	133	70—85	0,1	0,11—0,77	0,8—1,53	2,8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	24	145	70—85	0,15	0,15—1,82	2,44—2,98	0,81—2,52	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	22	80	70—85	0,14	0,14—0,84	0,77—1,36	0,56—1,6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	

казателем того, что в более ранние промежутки времени после взрывания зарядов ВВ взрывоопасных концентраций не было. Это подтверждается данными табл. 10, полученными в результате изучения состава атмосферы в призабойном пространстве выработки на шахте-новостройке «Петровская-Глубокая» в Донбассе, на которой зарегистрировано по состоянию на 1 июня 1970 г. 1276 выбросов породы со средней силой 208,6 т.

Из данных табл. 10 видно, что взрывчатые концентрации метана в случае выбросов песчаника через секундные и минутные интервалы времени после взрывания зарядов на расстоянии 15—35 м от забоя образуются редко. Это характерно для выбросов малой и средней силы (до 400 т), начинающихся сразу же после детонации шпуровых зарядов и протекающих в течение нескольких секунд.

Количество выделяющегося метана прямо пропорционально весу отбитой взрывом и выброшенной породы. Нарушение этой зависимости в отдельных случаях объясняется взрывной отбойкой песчаника, который ранее был частично разрушен и, следовательно, дегазирован предыдущим выбросом породы. Количество метана, выделяющегося из 1 т породы и перемещающегося по выработке на расстояние более 25 м за 20 мин, достигает 1,52 м³ при начальной газоносности песчаника 2—3 м³/т. Данные об остаточной газоносности в одной из выработок показывают, что через 5 мин после взрывания зарядов она составляет менее 0,01 м³/т породы. Следовательно, в течение указанного времени из песчаника выделяется основное количество не только свободного, но и сорбированного газа.

Состав рудничной атмосферы после разрушения взрывоопасного песчаника изменяется не только в результате интенсивного выделения метана, но и появления в призабойном пространстве выработки водорода, окиси углерода и высших углеводородов. Анализ набранных проб газа через миллисекундные интервалы времени после взрывания зарядов показывает, что концентрация высших углеводородов в выработке обычно находится в пределах от 0,1 до 0,4%. При этом основной частью в их составе является этан. Концентрация же водорода в атмосфере призабойного пространства через 130—275 мсек после взрывания зарядов составляет 0,1—2,3%, а в отдельных случаях превышает содержание метана. Это объясняется выделением водорода не только из песчаника, но и образованием его в процессе детонации скального аммонита № 1 прессованного и частичной диссоциации воды, метана и высших углеводородов.

Концентрация окиси углерода вблизи забоя выработки через миллисекундные интервалы времени после взрывания во многих случаях превышает 0,1%. Наличие окиси углерода является следствием отбрасывания продуктов взрыва в выработку. Однако высокое содержание ее может быть объяснено также частичным окис-

лением метана продуктами детонации скального аммонита № 1 прессованного.

Из рис. 4, на котором представлены графики образования максимальной концентрации метана при сотрясательном взрывании на пластах, подверженных выбросам угля и газа, и при взрывании по выбросоопасным песчаникам, видно, что прирост концентрации метана в первый период времени, исчисляемый несколькими секундами, при взрывных работах по выбросоопасным пес-

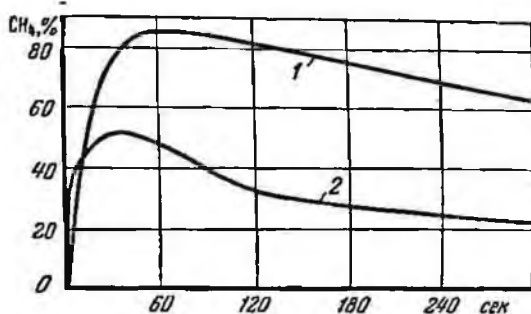


Рис. 4. Образование максимальной концентрации метана:

1 — при выбросах угля интенсивностью 40—160 т; 2 — при выбросах песчаника интенсивностью 500—800 т

чапкам значительно выше, чем при сотрясательном взрывании по углю. Однако в более поздние интервалы времени происходит обратная картина. Так, если максимальная концентрация угля через несколько десятков секунд составляет 80—85%, то при выбросах породы она не превышает 56%. Кроме того, высокое содержание метана в призабойном пространстве сохраняется в течение нескольких часов после выброса угля. Объясняется это выделением значительного объема газа, находящегося в угле в сорбированном состоянии. Подобное явление не может иметь места при взрывных работах по выбросоопасным породам, где почти весь метан находится в свободном состоянии и выделение его происходит за короткий период времени.

Приведенное сравнение газовыделения после сотрясательного взрывания на пластах, подверженных выбросам угля, и после взрывания зарядов по выбросоопасным песчаникам показывает, что в первом случае объем выделившегося газа, максимальная концентрация метана, а также дальность его распространения по выработке навстречу свежей струе воздуха будут большими, чем во втором случае. Вместе с этим следует отметить, что образование взрывчатой концентрации метана при интенсивных выбросах породы может происходить за более короткие промежутки времени, чем при выбросах угля.

§ 4. Выделение газа в шпуры и скважины

Давление газа в угольных пластах на глубине более 500 м часто составляет 30—40 *ати*, а в отдельных случаях превышает 100 *ати*. Практика производства взрывных работ по газоносным пластам показывает, что после герметизации заряженных шпуров в них может происходить интенсивное газовыделение с образованием избыточного давления. Динамика роста такого давления по

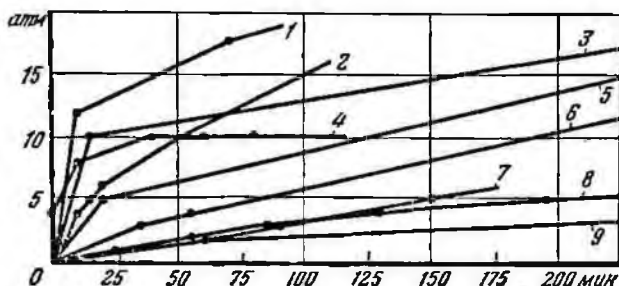


Рис. 5. Рост давления газа в шпурах перед вскрытием пластов:

1 — Рудного (гор. 596 м); 2 — Рудного (гор. 716 м);
3 — Ливенского (гор. 760 м); 4 — Александровского
(гор. 716 м); 5 — Рудного (гор. 716 м); 6 — Тонкого
(гор. 716 м); 7 — Рудного (гор. 596 м); 8 — Тонкого
(гор. 466 м); 9 — Софья (гор. 465 м)

отдельным вскрываемым пластам Донбасса показана на рис. 5, из которого следует, что в течение первого часа давление газа (метана) в шпурах растет значительно быстрее, чем в последующий период, и может достигать 10 *ати* и более.

Данные замеров давления газа в шпурах перед взрывными работами в очистных забоях шахт Донбасса (табл. 11) показывают, что максимальное давление метана в шпурах через 1,5 ч после их герметизации составляет от 4 до 15 *ати* [11]. Рост давления газа зависит от глубины заряжаемых шпуров и, как правило, происходит скачкообразно, что объясняется дренажем его через трещины и забойку. В коротких шпурах (1,5—2,0 м) большого избыточного давления газа не образуется.

За период времени, отведенный на взрывание зарядов (30—90 мин), в заряженных шпурах может образоваться избыточное давление газа. Для оценки степени опасности взрывных работ определялась возможность выбрасывания внутренней забойки и зарядов ВВ в этих условиях. На рис. 6 приведены критические давления газа, при которых внутренняя забойка разного качества начинает выбрасываться из шпуров. Сопротивляемость глиняной забойки из твердых пыжей длиной 70 см, как видно из приведенных данных, достигает 18—19 *ати*, а для мягких — не более 8 *ати*. Добавление песка положительно сказывается на качестве пыжей

Таблица 11

Глубина шпуров, м	Давление газа (ати) через, мин						
	1	15	30	45	60	75	90

Шахта № 29, пласт Смоляниновский, 63-я западная лава

1,5	0	0	0	0	0	0	0
2,0	1,75	3,0	3,7	—	3,9	—	3,9
2,5	1,5	2,5	2,5	—	2,8	2,8	2,5
3,4	5,0	6,0	6,5	7,0	7,0	6,0	5,5
3,0	2,0	1,7	2,5	—	5,0	—	4,0
4,0	1,5	2,0	—	2,0	—	—	—
2,5	1,0	—	1,2	—	1,2	—	1,2

Шахта № 17—17-бис, пласт Смоляниновский, 3-я западная лава

1,5	0	0,3	0,4	—	0,6	—	0,5
1,8	1,5	—	1,6	—	1,6	1,4	1,3
2,4	4,5	6,5	8,2	—	10,0	—	15,0
2,4	3,0	—	10,5	12,5	1,2	1,5	—
2,4	2,5	3,0	1,5	2,0	5,0	2,0	5,0
2,8	3,0	8,0	11,0	10,0	7,0	9,0	8,5

Шахта № 7, шахтоуправление № 1, пласт Ливенский, верхний уступ лавы

2,2	0	1,5	2,1	2,7	3,2	3,4	4,0
2,2	3,0	3,5	3,5	3,5	—	—	—

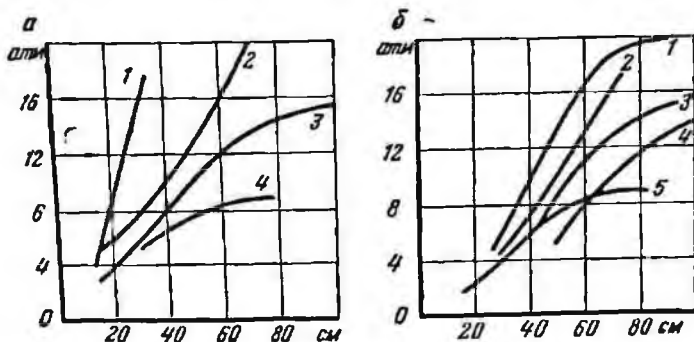


Рис. 6. Зависимость критического давления газа от длины и качества забойки:

а — в сухих шпурах; б — в обводненных шпурах; 1 — глино-песчаная забойка влажностью 11,7% с пределом текучести 12—14 кг/см²; 2 — глиняная забойка влажностью 17% с пределом текучести 12—14 кг/см²; 3 — глиняная забойка влажностью 18,5% с пределом текучести 8—10 кг/см²; 4 — (рис. 6, а) — глиняная забойка влажностью 20% с пределом текучести 5—7 кг/см²; 4 (рис. 6, б) — глино-песчаная забойка влажностью 14% с пределом текучести 5—6 кг/см²; 5 — глиняная забойка влажностью 20% с пределом текучести 5—7 кг/см².

и их сопротивляемости выбрасыванию. Глино-песчаная забойка с соотношением компонентов 2:1 способна выдержать давление газа до 14 ати при длине ее всего 30—35 см. Наличие воды в шпурах снижает сопротивляемость в 1,5—2 раза.

При проведении опытов в шахтах наблюдались случаи частичного выдавливания глиняной забойки газом из заряженных шпуров. Патрон-боевик, проводники электродетонаторов которого находились в глине, тоже перемещался, в результате этого происходил разрыв сплошности заряда.

Таким образом, интенсивное выделение метана в заряженные шпуры с образованием в них избыточного давления может привести к выбрасыванию или частичному перемещению забойки и заряда ВВ. При этом создаются условия для взрыва открытых зарядов или затухания детонации, способного перейти в месте движения патронов ВВ в выгорание.

Для устранения таких опасных источников воспламенения метана и угольной пыли при взрывных работах в зонах с интенсивным газовыделением, которые обычно встречаются при давлении газа в пласте более 10 *ати*, необходимо применять забойку из сыпучих материалов. Использование ее исключает образование избыточного давления газа более 1 *ати*. Тот же эффект достигается в случаях применения гидрзабойки из полиэтиленовых ампул с водой конструкции МакНИИ.

§ 5. Влияние угольной пыли на воспламеняемость метана

Взрыв метана, как известно, может происходить при концентрации его в пределах от 5 до 15%. Однако нижний предел взрывчатости метана значительно снижается при наличии в рудничной атмосфере относительно небольшого количества взрывчатой угольной пыли. Это объясняется изменением тепловых параметров реагирующей смеси [6].

Существенное влияние на взрывчатость метано-пылевоздушных смесей оказывают наличие летучих, дисперсность, содержание влаги и золы. Однако для наиболее опасных условий взрывания зарядов в выработках, проводимых по уголю, где нижний предел сильно взрывчатой пыли равен 17—18 $г/м^3$, в присутствии метана он понижается до 5—6 $г/м^3$.

При содержании в атмосфере 2,5% метана в указанных условиях нижний предел равен 3—5 $г/м^3$.

Повышение влажности и содержания золы существенно уменьшает взрывчатость угольной пыли. Поэтому применяемые на практике способы борьбы со взрывами пыли основаны на связывании ее водой и осланцевании призабойного пространства.

Высокая влажность в рудничной атмосфере несколько повышает предел ее взрывчатости. Тем не менее можно утверждать, что производство взрывных работ в выработках, проводимых на пластах, опасных по газу или пыли, характеризуется более высокой опасностью по сравнению с выработками, в призабойном пространстве которых исключается образование взрывчатой угольной пыли.

§ 6. Источники воспламенения газо-пылевоздушных смесей

Основными источниками воспламенения метано-воздушной смеси являются продукты детонации, прорывающиеся в загазированное пространство, и выгорание зарядов ВВ. В имевших место случаях взрывов пыли обычно участвовал метан, т. е. происходили взрывы газо-пылевоздушных смесей.

Для производства взрывных работ в шахтах, опасных по газу или пыли, применяются предохранительные взрывчатые вещества III, IV и V классов. ВВ III класса — победит ВП-4, аммониты АП-5ЖВ и АП-4ЖВ, предназначенные для выработок, проводимых только по породе, имеют весьма ограниченное распространение. Широко применяется для взрывной отбойки угля и породы аммонит ПЖВ-20. С 1968 г. ПЖВ-20 начал заменяться другим ВВ IV класса — аммонитом Т-19 [12], характеризующимся более высокими детонационными свойствами при возможном уплотнении в результате взрывания зарядов в сближенных смежных шпурах. При взрывных работах по углю на весьма газоносных пластах в последние годы широкое распространение получили ВВ V класса — угленит Э-6 и патроны ПВП-1-У [13].

Иницирование зарядов в шахтах, опасных по газу или пыли, осуществляется предохранительными электродетонаторами мгновенного и короткозамедленного действия типа ЭД-8ПМ, ЭДКЗПМ-15 и ЭДКЗПМ-25. Их использование обеспечивает устойчивую детонацию патрона-боевика, имеющего повышенную плотность.

Взрывчатые вещества III и IV классов не воспламеняют метано-воздушную смесь при взрыве заряда в mortarе весом 600 г при длине забойки 1 см, а ВВ IV класса, кроме того, не взрывают взрывчатую угольную пыль с содержанием летучих более 29% при весе заряда 700 г, взрываемого также в mortarе, но без забойки. Значительно большую опасность представляют взрывчатые вещества этих классов при взрыве их в свободно подвешенном состоянии: воспламенение метано-воздушной смеси начинает регистрироваться при взрывании таких зарядов весом 20—25 г.

ВВ V класса обладают повышенными предохранительными свойствами: они не воспламеняют метан и угольную пыль от взрыва свободно подвешенного заряда весом 200 г. Патроны в водонаполненных полиэтиленовых оболочках типа ПВП-1-У, кроме того, являются невыгорающими, что обеспечивается наличием водной оболочки [13].

Однако применение предохранительных ВВ не исключает воспламенения метано-воздушной смеси при отсутствии забойки в шпурах, при взрыве открытого или обнаженного зарядов. Анализ причин воспламенений метана, происшедших в последние годы, показывает, что большое количество их приходится на прорыв высокотемпературных продуктов детонации через трещины. Так, в 1968 г. из 16 зарегистрированных вспышек метана при взрывных

работах на шахтах Министерства угольной промышленности СССР 4 случая произошли по этой причине. Исследование степени опасности взрывных работ в трещиноватых породах показало следующее.

При проведении выработок взрывным способом в большинстве случаев образуются эксплуатационные трещины. Как правило, они бывают раскрытыми и имеют значительные размеры и различную ориентацию относительно поверхностей забоев и шпуровых зарядов [14]. Одним из основных факторов, влияющих на интенсивность образования эксплуатационных трещин, является способ подрывки породы в смешанных забоях. При проведении бутовых, вентиляционных, откаточных штреков и других выработок с верхней подрывкой неустойчивых пород наиболее часто образуются отслоения горного массива, заколы и другие виды трещин, приводящие к обнажению шпуровых зарядов перед их взрыванием. Ширина их может достигать 20 мм, а глубина — 1500 мм и более.

При выемке угля взрывным способом в лавах с машинным врубом при нижнем его расположении обычно происходит оседание подрубленного угольного массива. В результате этого образуются трещины шириной 30 мм и более, соединяющие полости заряженных шпуров с врубовой щелью и призабойным пространством. При оседании подрубленного угля могут происходить срезывания или переулотнения патронов. ВВ.

Особенно велико количество трещин различных размеров в выработках, проводимых по завалам. Взрывные работы в этих условиях могут производиться только при соблюдении специальных мер обеспечения безопасности, в том числе при обязательном применении водораспылительных завес.

Результаты проведенных нами исследований показывают, что к забоям выработок с трещиноватым массивом следует относить:

лавы с машинным врубом при нижнем его расположении;

все выработки, проводимые по завалам;

бутовые штреки с верхней подрывкой породы;

откаточные, вентиляционные штреки и другие выработки с верхней подрывкой глинистых сланцев или других неустойчивых пород с коэффициентом крепости по шкале проф. М. М. Протодяконова до 3;

все угольные и породные забои в зонах разрывных геологических нарушений.

Концентрация метана в трещинах, зарубных щелях, пустотах, шпурах и в других полостях взрываемого массива вблизи места нахождения заряда ВВ во многих случаях на газовых шахтах достигает взрывчатых или горючих пределов.

Воспламенение метано-воздушной смеси от прорыва продуктов взрыва предохранительных ВВ IV класса через трещины может происходить при их ширине 2—3 мм и более. Вероятность воспламенения метана зависит от ширины, глубины, форм и ориентации

трещин относительно оси заряда ВВ. На рис. 7 в качестве примера приведена полученная экспериментальным путем в лабораторных условиях частота взрывов метано-воздушной смеси в зависимости от ширины раствора трещин.

Использование ВВ повышенной предохранительности значительно повышает безопасность взрывных работ в выработках газовых шахт, проводимых по трещиноватым породам. Применение этих ВВ исключает воспламенение метана через малые трещины

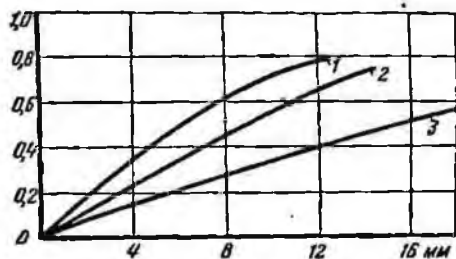


Рис. 7. Изменение частоты воспламенения метано-воздушной смеси в зависимости от ширины раствора трещин в угольных блоках диаметром:

1 — 240 мм; 2 — 340 мм; 3 — 440 мм

и значительно снижает эту вероятность по сравнению с ВВ IV класса через трещины шириной более 10 мм. Безопасность взрывных работ в этих условиях достигается только путем создания в призабойном пространстве предохранительной среды.

В последние годы после широкого внедрения водяных завес первостепенную опасность представляют выгорающие заряды. Это объясняется тем, что процесс выгорания может быть более длительным по сравнению с эффективным временем действия водораспылительной завесы.

Проведенными исследованиями установлено, что случаи выгорания зарядов ВВ на шахтах Донбасса имели место преимущественно при взрывных работах по углю в подготовительных и нарезных выработках. Они происходили вследствие затухания детонации ВВ, обусловленного условиями практического применения взрывчатых материалов, а также низкими детонационными свойствами взрывчатых веществ [15]. Основными причинами затухания детонации и выгорания предохранительных ВВ, зависящими от условий их применения, являются:

1) переуплотнение патронов ВВ в шпурах. Причинами такого переуплотнения могут быть сжатие патронов и их деформация взрывами зарядов в соседних шпурах при расстояниях между шпурами по углю менее 0,6 м для ВВ IV класса и 0,5 м для ВВ V класса;

2) увеличение воздушного промежутка между торцами патронов в шпурах, обуславливаемое возможной раздвижкой их во время группового взрывания зарядов, инициируемых электродетонаторами короткозамедленного действия, или нарушением порядка заряжания плохо очищенных от буровой мелочи шпуров;

3) пересыпки из угольной или породной пыли между патронами, образующиеся в результате попадания во время взрывания отколовшейся от стенок шпуров мелочи или неудовлетворительной очистки и их нарушения порядка заряжания;

4) увлажнение ВВ в патронах.

Основными причинами неустойчивой детонации и выгорания зарядов предохранительных ВВ, зависящими от свойств и состояния взрывчатых материалов, являются: сравнительно низкие их критические плотности и неудовлетворительное состояние взрывчатого вещества в момент его применения. Последнее может зависеть как от технологии изготовления и качества хранения ВВ (плохая заделка торцов, неоднородная плотность патронов, «спекаемость», слежалость и т. п.), так и от транспортировки ВВ мастером-взрывником по горным выработкам. Анализ неиспользованного в забоях патронированного ВВ и возвращенного на склад ВМ показывает, что эти патроны нередко имеют неудовлетворительное качество, поэтому следующее использование их для взрывных работ в горных выработках следует считать нецелесообразным.

В последние годы успешно внедряются устойчиво детонирующий аммонит Т-19 и патроны в водонаполненных полиэтиленовых оболочках типа ПВП-1-У, проведены промышленные испытания сплошных зарядов (монозарядов) в полиэтиленовых оболочках. Однако объем применения указанных ВВ и монозарядов в шахтах является пока еще недостаточным и поэтому опасность выгорания ВВ остается относительно большой.

В шахтных условиях кроме рассмотренных основных источников воспламенения метана и угольной пыли зарегистрированы также искрение во взрывной сети и искры, образующиеся при ударах песчаника по металлическим предметам или по песчанику. Последний источник может иметь место при выбросах породы в то время, когда образуются взрывчатые или горючие концентрации метана.

Исследованиями, проведенными МакНИИ [16], была доказана воспламеняющая способность искр, образующихся при ударах песчаника по стальным поверхностям. Поэтому в указанных условиях взрывания следует использовать эффективные способы создания предохранительной среды.

В настоящее время для предотвращения искрения во взрывной сети в местах соединения проводов используются шахтные зажимы, обеспечивающие изоляцию обнаженных проводников и хороший контакт их. Кроме того, применяемые взрывные приборы способны давать взрывной импульс тока в течение ограниченного

времени (до 4 мсек). Однако отмеченные случаи воспламенения метано-воздушной смеси от искрения во взрывной сети указывают на необходимость использования для взрывных работ в особо опасных условиях искробезопасных взрывных машинок. В настоящее время в угольных шахтах имеется взрывной прибор ИВП-1/12, удовлетворяющий требованиям по искробезопасности и рассчитанный для взрывания 12 электродетонаторов.

Таким образом, общепринятые способы обеспечения безопасности взрывных работ в ряде случаев не исключают воспламенения метана и угольной пыли. Поэтому возникает необходимость в применении такого эффективного метода предотвращения вспышек и взрывов газо-пылевоздушных смесей, как предохранительная среда.

Глава II

ВОДОРАСПЫЛИТЕЛЬНЫЕ ЗАВЕСЫ

§ 7. Способ создания водораспылительных завес

Водораспылительные завесы, называемые также водяными завесами, являются одним из способов создания предохранительной среды при ведении взрывных работ в шахтах, опасных по газу или пыли. Основная идея этого способа предупреждения взрывов метано-пылевоздушных смесей заключается в том, что в призабойном пространстве горной выработки создается зона, заполненная мелкодисперсным туманом, который должен препятствовать развитию взрывных реакций даже в том случае, если пламя взрыва возникнет в загазированной выработке.

В различные периоды времени было рассмотрено или предложено несколько способов создания водораспылительных завес: распыление воды из специальных канавок, металлических корыт и полиэтиленовых сосудов при помощи взрыва в них зарядов ВВ или электродетонаторов, из стальных емкостей за счет избыточного давления газа, а также из форсунок, работающих от давления воды, и туманообразователей, в которых кроме давления воды используется энергия сжатого воздуха. Проверка эффективности действия их показала следующее.

Распыляемая из специальных канавок или корыт с металлическим каркасом вода в количестве 150—160 л от действия взрыва зарядов в них отбрасывается с большой скоростью вверх без распространения ее по сторонам. Поэтому создаваемая таким образом предохранительная среда не всегда предотвращает воспламенение метано-воздушной смеси. Установлено также, что из сосудов с жесткими стенками вода распыляется в основном крупными каплями. В случае же использования корыт с металлическим каркасом последний, кроме того, значительно деформируется и это затрудняет повторное использование подобных устройств.

Водораспылительная завеса достаточной эффективности, как показали исследования МакНИИ [17], может быть создана путем распыления воды из специального стального сосуда под действием давления газа около 40 атм. Предотвращение воспламенения ме-

Тогда в этом случае достигалось путем распыления воды специальными зарядами с диаметром выходного отверстия 3 мм, которые в сильном штыре с поперечным сечением 2,5 мм обеспечивали расход воды до 100 л в течение нескольких секунд [8]. Однако сложность использования установки в шахтах не позволила рекомендовать ее к промышленному внедрению.

Практическое применение на шахтах Советского Союза в последние годы получил взрывной способ создания завесы за счет распыления воды из пластиковых сосудов, используемых в подвешиваемом состоянии. Впервые он был опробован в Чехословакии и получил дальнейшее развитие в работах отечественных ученых [13].

Вначале на шахтах, опасных по газу или пыли, Донбасса и других бассейнов для создания предохранительной среды использовались полиэтиленовые сосуды емкостью 10—12 л. Распыление воды из них в связи с отсутствием в тот период времени ВВ V класса осуществлялось при помощи взрыва в каждом сосуде двух предохранительных электродетонаторов мгновенного действия. Применение таких водораспылительных завес предотвращает воспламенение метана и улучшает санитарно-гигиенические условия труда шахтеров при взрывных работах. Вместе с тем имеющиеся недостатки в первую очередь, малый радиус действия распылителя, обусловленный малым диаметром сопла, требует дальнейшего совершенствования способа создания водораспылительной завесы.

В результате проведенных исследований [19] предложено использовать полиэтиленовые сосуды емкостью 20—25 или 40—50 л, а для распыления воды в углубленном состоянии — специальные заряды ВВ V класса, которые не следует заменять метано-воздушную смесь при взрыве на взрывчатом состоянии, а в сланцевых шахтах применять заряды ВВ IV класса с весом патрона до 300 г.

Применяемые в углубленном состоянии в углубленных шахтах полиэтиленовые сосуды (рис. 8) имеют диаметр в сложном виде 500—600 мм, что соответствует диаметру 25—30 мм. Емкость сосуда 20—25 л, используется в подвешиваемом состоянии, прижимается равной 650—700 мм длины сосуда емкостью 40—50 л, укладываемого на почву диаметром 500—1000 мм. Вес сосуда такого полиэтиленового сосуда без воды при толщине пленки $0,1 \pm 0,02$ мм в зависимости от его емкости равен соответственно 60—90 и 100—150 г.

Распыление воды из полиэтиленового сосуда в углубленных шахтах допускается осуществлять одним патроном ПВП-В-У или угленита Э-6 весом 100 г при количестве воды в сосуде 20—25 л и взрывом одного патрона ПВП-В-У или угленита Э-6 весом 200 г при количестве воды 40—50 л. Использование других ВВ для этой цели не допускается. Для распыления воды в сланцевых шахтах могут применяться емкости ПДК-20 или Т-19 с весом заряда не

более 300 г. Иницирование зарядов ВВ в сосудах с водой производится только предохранительными электродетонаторами мгновенного действия типа ЭД-8ПМ, соединяемыми во взрывную сеть вместе с электродетонаторами шпуровых зарядов.

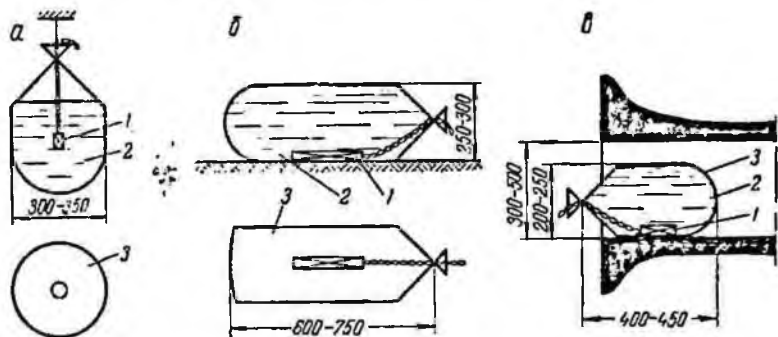


Рис. 8. Схематическое устройство полиэтиленовых сосудов с водой емкостью:

а — 20—25 л; б — 40—50 л; в — 10—12 л; 1 — заряд ВВ; 2 — вода; 3 — полиэтиленовый сосуд

Опыт применения водораспылительных завес показал, что форма используемых сосудов может быть изменена. В результате лабораторной и шахтной проверки была доказана возможность промышленного внедрения сосудов, заваренных со всех сторон.

§ 8. Динамика распыления воды

Процесс формирования и размеры водяной завесы зависят от ряда факторов, основными из которых являются количество распыляемой воды, толщина полиэтиленовой пленки, форма и размеры сосуда, вес и тип распыляющего заряда.

Одна из примерных кинограмм формирования водяной завесы из сосуда емкостью 50 л, уложенного на почве выработки, приведена на рис. 9. Профиль водяного облака при использовании в качестве распыляющего заряда одного патрона ПВП-1-У, как видно из приведенных кадров, получается плотный, с ровными краями, по форме напоминает трапецию.

Туманообразное облако, образующееся при распылении 20—25 л воды из подвешенного сосуда, форма которого приближается к шарообразной, расширяется почти равномерно во все стороны. В случаях же увеличения длины при сохранении диаметра такого сосуда водяное облако принимает продолговатую форму, раздвинутую в горизонтальном направлении.

В практике производства взрывных работ с использованием водораспылительных завес могут допускаться в отдельных случаях отклонения от требуемых норм и условий их применения. Для

оценки изменения эффективности действия водяных завес ниже приведены данные, характеризующие влияние количества воды в сосуде, толщины его полиэтиленовой пленки, веса и типа распыляющего заряда ВВ на изменение размера завесы.

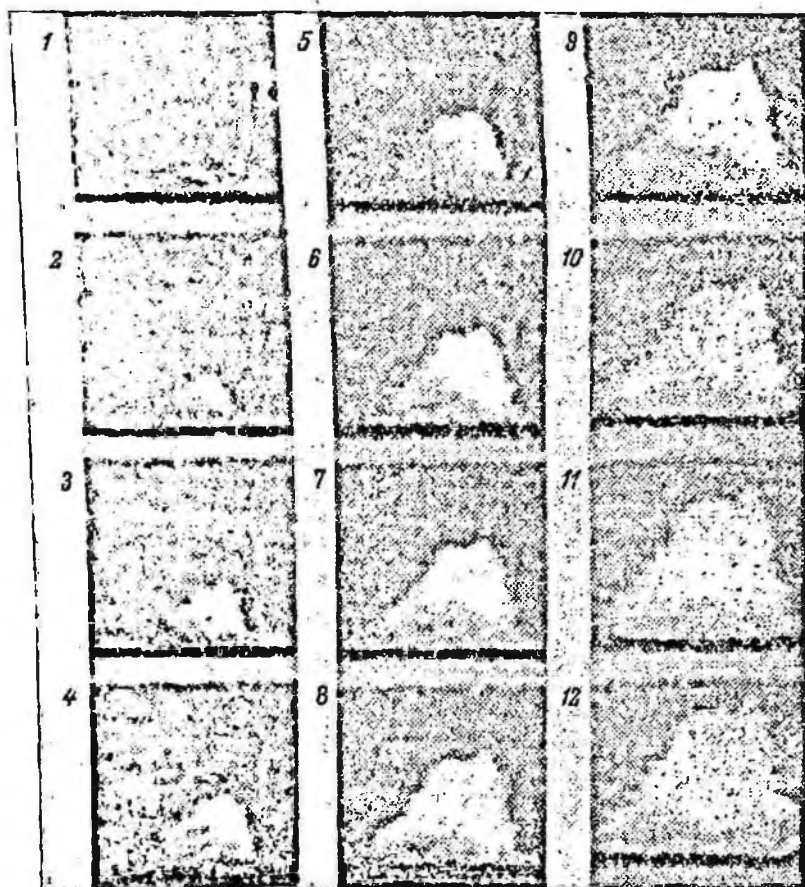


Рис. 9. Процесс формирования облака завесы при распылении воды из сосуда емкостью 40—50 л, уложенного на почву (интервал времени между кадрами 2 мсек)

Увеличение объема воды в сосуде до определенного предела в конечном итоге приводит к образованию водяного облака большого размера. Так, по истечении 20 мсек, за которые происходит интенсивное формирование завесы, как видно из рис. 10, при сосуде с водой емкостью 1,5 л получается облако размером $4,1 \times 3,65$ м, емкостью 5 л — $4,7 \times 3,8$ м, емкостью 10 л — $4,85 \times$

×3,85 м и емкостью 20 л—5,2×4,1 м. Сравнение размеров водяного облака в различных направлениях для всех видов сосудов показывает, что распыление воды в вертикальной плоскости происходит с меньшей скоростью, чем в горизонтальной плоскости, поэтому в конечном счете водяное облако в этом направлении имеет меньшие размеры.

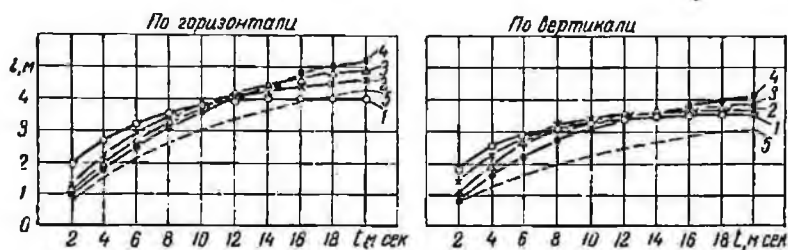


Рис. 10. Изменение размеров водяного облака для сосудов с водой емкостью:

1—1,5 л; 2—5 л; 3—10 л; 4—20 л; 5—30 л

Толщина полиэтиленовой пленки сосуда при распылении воды оказывает значительное влияние на период формирования и окончательные размеры водяной завесы. Так, при увеличении толщины пленки с 60—80 мк до 150—175 мк (рис. 11)

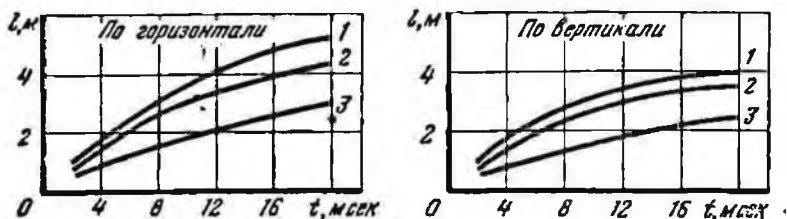


Рис. 11. Изменение размеров водяного облака при толщине полиэтиленовой пленки сосуда:

1—60—80 мк; 2—150—175 мк; 3—300—350 мк

максимальные размеры распыленного облака уменьшаются с 5,2×4,1 м до 4,8×3,6 м, а при толщине пленки 300—350 мк составляют всего 3,1×2,5 м. Результаты лабораторно-полигонных исследований и опыта применения водораспылительных завес в шахтах показали, что наиболее целесообразно толщину пленки принимать равной 100 мк.

Влияние веса заряда на эффект распыления воды из подвешенного сосуда емкостью 20 л показано на рис. 12. При увеличении веса заряда угленита Э-6 с 50 до 200 г возрастают раз-

меры водяной завесы на 20—30% и уменьшается время ее формирования.

Знание времени действия водораспылительных завес позволяет правильно выбирать безопасные параметры взрывных работ в шахтах, опасных по газу или пыли.

Кинесъемка процесса распыления воды из сосудов емкостью 20—50 л показала, что интенсивное увеличение облака происходит в первые 100—150 мсек. При этом максимальные размеры его

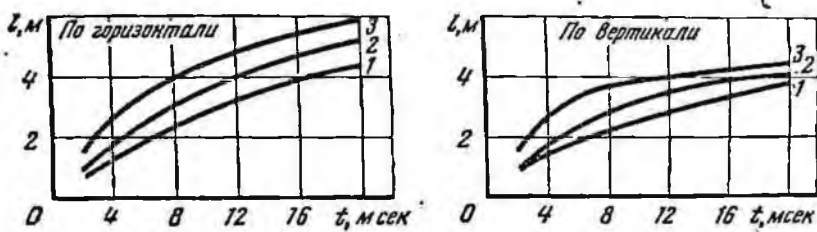


Рис. 12. Изменение размеров водяного облака при весе распыляющего заряда из угленита Э-6 весом:
1 — 50 г; 2 — 100 г; 3 — 300 г

для сосудов емкостью 20—25 л составляют 5,6×4,7 м, а для сосудов емкостью 50 л — 8,3×5,3 м. Затем скорость распространения облака значительно падает, и через 300 мсек движение его полностью прекращается. Размеры водяного облака в это время составляют для сосудов емкостью 20 л — 6,5×5,6 м, а для сосудов емкостью 50 л — 10×7 м. В дальнейшем облако некоторое время остается неизменным и по истечении 550—600 мсек в верхних частях его появляются просветы, которые быстро увеличиваются. Через секунду завеса почти полностью рассеивается, остается лишь незначительное облако из весьма мелкораспыленной воды, которое в месте нахождения сосуда удерживается до 1,5—3 сек.

Если допустить, что вся вода равномерно распределяется при распылении по всему размеру облака, то плотность ее в 1 м³ атмосферы через 300 мсек после начала распыления составляет около 0,2 л в 1 м³ объема рудничной атмосферы.

§ 9. Предохранительное действие водораспылительных завес

Условия флегматизирующего действия

Чтобы уяснить механизм флегматизирующего действия диспергированной воды на метано-воздушную смесь, необходимо, прежде всего, рассмотреть условия возникновения и протекания взрывной реакции метана с воздухом. В общем виде эту реакцию можно представить следующим уравнением:



Приведенное уравнение не отображает истинный ход реакции, имеющей экзотермический характер, а характеризует лишь конечные продукты окисления метана. Проведенные исследования [20] позволили установить ряд промежуточных соединений: гидроксильного радикала OH , углеводородных радикалов C_nH_m , атомарного кислорода, окиси углерода CO , формальдегида CH_2O и др.

Характерно, что наличие перечисленных продуктов значительно ускоряет реакцию окисления метана, которая может иметь цепной [21, 22, 23] или радикальный характер протекания. Результаты экспериментальных работ [24, 25, 26] показывают, что при температуре не выше 1000°K реакция окисления метано-воздушной смеси имеет цепной характер, при более высокой температуре происходят тепловые взрывы с образованием свободных радикалов.

Вопрос о механизме воспламенения метано-воздушной смеси взрывом заряда является довольно сложным и окончательно не решенным, хотя имеется ряд научных теорий, позволяющих разработать обоснованные рекомендации по обеспечению безопасности взрывных работ в условиях газовых шахт. Наибольшее распространение получила тепловая теория Одибера [23], дополненная исследованиями советских ученых [27, 28].

Основная роль в разогреве метано-воздушной смеси по этой теории отводится газообразным продуктам взрыва в процессе их смешения. Расширяющиеся от места взрыва продукты детонации обогащаются метаном и кислородом, содержащимися в окружающей среде. Через некоторый промежуток времени образуется горючая смесь, состоящая из продуктов взрыва, метана и воздуха. Если температура этой смеси будет больше температуры вспышки при данных условиях, и время такой температуры равно или больше периода индукции, то смесь воспламенится.

Период индукции в основном определяется законом отвода тепла: чем быстрее будет падение температуры Δt , тем большим будет интегральное значение периода индукции Δt . В пределе период индукции становится бесконечно большим и вспышка не произойдет, т. е. $\Delta t > \Delta t$. На практике такое соотношение может достигаться за счет теплопоглощения и отвода тепла в зоне реакции распыленной водой или воздействием ингибиторов, прекращающих развитие реакций окисления метана и тем самым снижающих содержание тепла в системе.

Вода имеет высокую теплоемкость и при изменении агрегатного состояния способна поглощать большое количество тепла. Поэтому она по сравнению с другими инертными добавками обладает значительными преимуществами. При введении тонкодиспергированной воды в метано-воздушную смесь, смешанную с продуктами взрыва, получаем среду:

метан + воздух + продукты взрыва + диспергированная вода.

С практической точки зрения наибольший интерес представляет такая смесь из перечисленных компонентов, в которой вода будет исключать воспламенение метана.

Проверка предохранительного действия

Непосредственное изучение предохранительного действия принятых водораспылительных завес производилось в опытном штреке. Данные опытов (табл. 12), проведенных с целью установления минимального количества диспергированной воды, при котором исключается взрыв метана, показывают следующее.

Таблица 12

Объем распыляемой воды, л	Время взрыва воспламеняющего заряда после начала распыления воды, мсек	Расстояние от сосуда с водой до воспламеняющего заряда, м	Частота воспламенения метана, %
Воспламеняющий заряд — аммонит № 6-ЖВ весом 0,2 кг, диаметром 32 мм			
1,0	25	1,0	100
1,0	25	0,6	100
1,0	25	0,4	100
1,25	25	0,4	50
1,5	25	0,4	0
1,5	25	0,6	0
1,5	50—100	0,6	0
1,5	250	0,6	100
Воспламеняющий заряд — аммонит ПЖВ-20 весом 0,3 кг, диаметром 36 мм			
1,5	25	0,6	0
1,0	25	0,6	0
0,5	25	0,6	100
1,0	25	0,4	0
1,0	50—150	0,6	0
1,0	250	0,6	100

Предотвращение воспламенения метано-воздушной смеси при взрыве заряда аммонита № 6-ЖВ весом 200 г и диаметром 32 мм достигается распылением 1,5 л воды в камере объемом 5 м³. В этих же условиях при взрыве заряда аммонита ПЖВ-20 весом 300 г диаметром 36 мм минимальный объем распыленной воды составляет 1 л. Время эффективного действия водяных завес в обоих случаях находится в пределах 150—250 мсек. Поэтому можно считать, что за этот период времени она не претерпевает существенных изменений, т. е. осаждение распыленной воды будет незначительным.

Эффективность действия водораспылительных завес и удельный расход воды зависят от многих факторов, в том числе от источника воспламенения опасной среды (табл. 13).

Как видно из приведенных экспериментальных данных, взрывание свободно подвешенных зарядов не предохранительного аммонита № 6-ЖВ примерно в два раза более агрессивно к воспламенению метана, чем взрывание таких же зарядов, заглубленных в мортيره без забойки, и в 1,2—1,3 раза менее агрессивно, чем в уг-

Таблица 13

Тип ВВ	Диаметр заряда, мм	Вес заряда, кг	Количество распыляемой из сосудов воды, л	Частота воспламенения метана, %
Взрывание зарядов в мортيره без забойки				
Аммонит ПЖВ-20	36	0,6	0,25	100
Аммонит № 6-ЖВ	36	0,6	0,25	0
	32	0,6	0,25	100
	32	0,6	0,50	100
	32	0,6	0,75	0
Взрывание свободно подвешенных зарядов				
Аммонит ПЖВ-20	36	0,3	0,5	100
	36	0,3	1,0	0
	36	0,6	1,0	100
	36	0,6—0,9	1,5	0
	42	0,3—0,4	1,0	0
	42	0,6	1,0	100
	42	0,6—0,9	1,5	0
	48	0,3	1,0	0
	48	0,6—0,9	1,5	0
	24	0,2	1,0	100
	24	0,2	1,5	0
	28	0,2	1,0	100
	28	0,2	1,5	0
	Аммонит № 6-ЖВ	32	0,1	1,0
32		0,2	1,0	100
32		0,1—0,6	1,5	0
36		100	1,5	100
36		0,1—0,6	2,0	0
42		0,1—0,2	2,0	0
42		0,4	2,0	100
42		0,4—0,6	2,5	0
48		0,2	2,5	100
48		0,2—0,4	3,0	0
Детонит 10А	32	0,1—0,6	1,0	66
	32	0,1—0,6	1,5	0
	36	0,1—0,6	1,5	100
	36	0,1—0,6	2,0	0
	42	0,1—0,6	2,0	100
	42	0,1—0,6	2,5	0
	42	0,1—0,6	2,5	0
Аммонит скальный № 1 прес-сованный	36	0,25	0,5	66
	36	0,25	1,0	0
	36	0,5	1,0	100
	36	0,5	1,5	0
Взрывание зарядов в угловой мортيره				
Аммонит ПЖВ-20	36	0,3	0,5	75
	36	0,3	1,0	0
	42	0,3	1,0	33
	42	0,3	1,5	0

Тип ВВ	Диаметр заряда, мм	Вес заряда, кг	Количество распыляемой из сосудов воды, л	Частота воспламенения метана, %
Аммонит № 6-ЖВ	32	0,2	1,0	100
	32	0,2	1,5	75
	32	0,2	2,0	0
	36	0,2	2,5	0
	42	0,2	2,5	50
	42	0,2	3,0	0

ловой mortar. Вес заряда при этом большого влияния на воспламеняемость метано-воздушной смеси не оказывает. Увеличение диаметра с 24 до 32 мм не сказывается на агрессивность взрыва, с 32 до 48 мм с определенной закономерностью вызывает увеличение концентрации воды в завесе.

Для предохранительных ВВ типа аммонита ПЖВ-20 взрывание свободно подвешенных зарядов и в угловой mortar почти в 6 раз более агрессивно, чем взрывание таких же зарядов, заглубленных в обычной mortar без забойки. Диаметр заряда при этом существенного влияния не оказывает. Вес заряда только в пределах от 300 до 600 г вызывает увеличение объема распыляемой воды, и дальнейшее изменение его до 0,9 кг не влияет на агрессивность взрыва. Изложенные данные хорошо согласуются с результатами экспериментальных взрываний в обычной нефлегматизированной метано-воздушной смеси [29].

Увеличение вероятности воспламенения метана с увеличением диаметра заряда объясняется уменьшением химических потерь при детонации [29]. В условиях водяных завес для предохранительных ВВ типа аммонита ПЖВ-20 это влияние не обнаруживается, для не предохранительных ВВ типа аммонита № 6-ЖВ агрессивность возрастает только с диаметра 32 мм. При этом характерен ряд относительной агрессивности к воспламенению метана, наблюдаемый при взрывании зарядов в различных условиях (табл. 14).

Сравнение результатов, полученных для не предохранительного аммонита № 6-ЖВ и предохранительного аммонита ПЖВ-20,

Таблица 14

Диаметр заряда, мм	Относительная воспламеняющая способность взрыва заряда	
	свободно подвешенного	в угловой mortar
32	1	1
36	1,33	1,25
42	1,67	1,5

показывает, что их относительная агрессивность к воспламенению метана в значительной степени зависит от условий взрыва зарядов и составляет: для открытых — 1, для заглубленных в мортире без забойки — 3 и для взрываемых в угловой мортире — 1,3. Этот ряд определяет эффективность действия ингибирующих солей, входящих в состав предохранительных ВВ в зависимости от условий взрыва. Отсюда следует важный практический вывод, что предохранительные свойства так называемых «антигризутных ВВ» наиболее полно проявляются при взрывании закрытых (в шпурах) зарядов. Взрывание же открытых зарядов предохранительных ВВ почти также опасно, как непредохранительных ВВ.

Воспламеняемость метано-воздушной смеси, как известно [30], зависит от скорости детонации ВВ; влияние ее при взрывании открытых зарядов очень сильное, при взрывании же их в мортире — почти не обнаруживается. Это явление объясняется условиями смешения газов. Очевидно, в нефлегматизированной метано-воздушной смеси большая скорость детонации ВВ улучшает условия ее воспламенения, при наличии предохранительной водяной завесы — способствует более быстрой отдаче тепла. Характерным примером, подтверждающим это явление, являются результаты взрыва скального аммонита № 1 прессованного. Это ВВ при скорости детонации 6100—6500 м/сек в условиях водяной завесы обладает такой же воспламеняющей способностью свободно подвешенных зарядов, как и аммонит ПЖВ-20, скорость детонации которого составляет 3700—4200 м/сек.

После исследования динамики диспергирования воды под действием взрыва расплывающихся зарядов и различных факторов, способных оказывать влияние на эффективность действия создаваемой завесы, было произведено определение минимальной концентрации воды, исключающей возможность взрыва метана в опытном штреке (табл. 15).

Таблица 15

Тип ВВ	Концентрация воды в завесе, предотвращающая воспламенение метано-воздушной смеси от взрыва заряда, кг/м ³		
	в мортире	свободно подвешенного	в угловой мортире
Аммонит ПЖВ-20 с диаметром патронов 32—48 мм	0,05	0,1	0,3
Аммонит № 6-ЖВ с диаметром патронов:			
32 мм	0,15	0,2	0,4
36 мм	—	0,3	0,5
42 мм	—	0,4	0,6

Из данных табл. 15 видно, что диспергирование воды в количестве 0,1 кг/м³ в завесе предотвращает воспламенение метано-воздушной смеси от взрыва свободно подвешенного заряда ammo-

нита ПЖВ-20. Для шахтных условий рекомендуется значительно больший удельный расход воды, который, как правило, составляет около 1 кг/м^3 .

Эффективный радиус действия

Создаваемая предохранительная среда будет оказывать эффективное действие по предотвращению воспламенения метано-воздушной среды при условии, что распыленная вода требуемой концентрации и дисперсности будет заполнять наиболее удаленное от сосуда место в забое выработки. Расстояние от места нахождения сосудов с водой до наиболее удаленной точки призабойного пространства, где исключается взрыв метана, условно названо эффективным радиусом действия завесы.

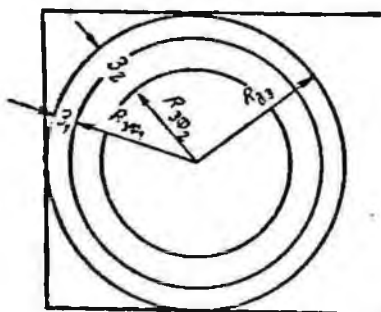


Рис. 13. Радиусы действия водяной завесы:

$R_{эф}$ и $R_{з}$ — эффективный радиус действия завесы соответственно для предохранительных и не предохранительных ВВ; $З$ и $З_2$ — защитная зона соответственно для предохранительных и не предохранительных ВВ; $R_{д.з}$ — радиус действия завесы

Наиболее вероятным источником воспламенения опасной среды при производстве взрывных работ в шахтах, опасных по газу или пыли, можно считать прорыв высокотемпературных продуктов детонации шпуровых зарядов в выработку. Однако на практике могут иметь место случаи выброса раскаленных частиц в призабойное пространство, взрыв отдельных патронов ВВ вне шпура, искрение во взрывной сети и другие источники воспламенения

газа, которые могут возникать на определенном расстоянии от забоя.

Эффективное действие завесы в этом случае будет определяться не только наличием распыленной воды у источника воспламенения, но и созданием определенной длины облака между этим источником и взрывчатой метано-воздушной средой. Следовательно, для предотвращения воспламенения метана, находящегося за завесой, должна быть достаточная предохранительная зона из мелко распыленной воды, способная исключить прорыв пламени к метано-воздушной смеси, где отсутствует предохранительная среда (рис. 13). Таким образом, эффективный радиус действия будет значительно меньше радиуса облака распыленной воды.

Экспериментальная проверка в опытном штреке показала, что длина облака, способного предотвратить взрыв метано-воздушной смеси, зависит от источника воспламенения и для предохранительного аммонита ПЖВ-20 весом 150 г составляет $0,8-0,9 \text{ м}$. При

увеличении веса этого ВВ, а также для непреходящих ВВ эта защитная зона должна иметь длину более 1,0—1,5 м. Эффективный радиус действия завесы, создаваемой распылением воды из сосуда емкостью 20 л, через 25—30 мсек для этого воспламеняющего заряда составляет 1,5—2,0 м. Эффективный радиус увеличивается с течением времени и через 500—600 мсек после начала распыления воды находится в пределах 2,5—3,5 м, в то время как радиус созданной завесы достигает 4—5 м.

Толщина полиэтиленовой пленки и мощность распыляющего заряда оказывают значительное влияние на эффективность действия распыленной воды. Так, если при толщине пленки в сосуде 80 мк эффективный радиус завесы для воспламеняющего свободно подвешенного заряда аммонита № 6-ЖВ весом 200 г или ПЖВ-20 весом 300 г составляет 2,5 м, то при увеличении толщины ее вдвое этот радиус уменьшается до 1,7—2 м. Использование в качестве распыляющего заряда патрона ПВП-1-У вместо 100 г угленита Э-6 позволяет в данных условиях несколько уменьшить это отрицательное влияние. Однако при толщине пленки сосуда 300—350 мм и более образующаяся водяная завеса уже не обладает достаточными предохранительными свойствами.

Подобное явление наблюдается при использовании в качестве распыляющего заряда угленита № 5, т. е. более слабого ВВ по сравнению с угленитом Э-6 и патронами ПВП-1-У. Поэтому применение этого недостаточно мощного угленита для распыления воды в шахтных условиях не рекомендуется.

Эффективное время действия завесы для рекомендуемых сосудов и допустимых зарядов, как показали проведенные исследования, составляет 500—600 мсек.

Локализирующее действие водораспылительной завесы

Распыление воды из одного сосуда объемом 20 л за 25—30 мсек до взрыва воспламеняющего заряда, расположенного на расстоянии 3,5—4,5 м от этого сосуда, т. е. на 1—1,5 м большем величины эффективного радиуса действия, позволяет локализовать взрыв метано-воздушной смеси. Однако подобные результаты не достигаются при одновременном взрывании воспламеняющего и распыляющего воду зарядов. Это объясняется тем, что при больших скоростях взрывного горения метано-воздушной смеси распыленное облако не успевает распространиться по всему сечению штольни на достаточную длину и поэтому не способно предотвратить прорыв пламени.

Надежное локализирующее действие водяной завесы достигается при распылении воды из двух полиэтиленовых сосудов, расположенных на расстоянии 2—2,4 м один от другого по длине выработки. При этом скорость горения метана, согласно показаниям датчиков пламени, на первом участке пути при использовании и без применения водяных завес одинакова в одних и тех же пре-

делах, на втором участке у места расположения сосуда с водой снижается в 2,5—3 раза и у второго сосуда полностью гасится.

Локализация взрыва метано-воздушной смеси в условиях одновременного инициирования воспламеняющих и распыляющих зарядов ВВ происходит, по нашему мнению, следующим образом. Распространяющееся пламя горения метана подходит к первому сосуду в течение нескольких миллисекунд, за которые успеет образоваться лишь незначительное облако, неспособное еще полностью задержать пламя взрыва. Однако движущееся пламя, встречая завесу, частично гасится, раздробляется на отдельные струи и проходит у стен выработки, где плотность облака еще незначительна, со скоростью в 3,0—3,5 раза меньше обычной. Эта задержка оказывается достаточной для того, чтобы созданная завеса от второго сосуда сумела перекрыть это пространство и создать предохранительную среду на длину, способную в дальнейшем погасить прорвавшееся пламя.

Эффективность действия водораспылительной завесы в процессе короткозамедленного взрывания

Предохранительная среда, созданная в забое, остается без изменения только до взрыва шпуровых зарядов. В дальнейшем в процессе взрыва на нее будут воздействовать последовательно взрывающиеся шпуровые заряды различных ступеней замедления и водяная завеса будет претерпевать определенные изменения.

Анализ процесса взрыва шпуровых зарядов показывает, что на предохранительную среду в процессе взрывания оказывают воздействие следующие факторы: ударная волна, газообразные продукты взрыва вместе с угольной и породной пылью и отбитая горная масса. Действие перечисленных факторов происходит в определенной последовательности и по-разному. Так, после взрыва первой серии зарядов на предохранительную среду действуют только ударная волна и газообразные продукты взрыва, после взрывания второй и последующих серий может оказывать действие еще и отбитая горная масса.

Анализ данных по разрушению пород и угля взрывным способом показывает, что сдвижение взрываемого массива в забое выработки с одной поверхностью обнажения в зависимости от крепости породы и других условий происходит в основном в течение 30—100 мсек. За время 100—200 мсек происходит выброс горной массы из врубовой полости. Величина подвижки массива, например, в песчанистом сланце может составлять за 10—20 мсек — 5 см, за 12—48 мсек — 10 см, за 20—91 мсек — 20 см. Если взять максимальную скорость движения массива, то за время 130—195 мсек, необходимое для взрыва последней серии шпуровых зарядов при существующем короткозамедленном взрывании, основная часть горной массы, отбитой врубовыми зарядами, будет выброшена не более чем на 1,5—2,0 м. Подвижка осталь-

ной части массива, отбитой взрывом последующей серии зарядов, будет значительно меньше.

Таким образом, представленная картина перемещения и выброса горной массы в процессе короткозамедленного взрывания показывает, что только против врубовых зарядов на расстоянии до 1,5 м будет иметь место частичное вытеснение или осаждение водораспылительной завесы. В остальной же части отбитая горная масса существенного влияния на предохранительную среду не оказывает.

Воздействие на водяную завесу ударной волны и газообразных продуктов взрыва может быть двояким. С одной стороны, они могут отбросить созданное водяное облако от забоя или частично разбавить его и этим снизить предохранительное действие. С другой стороны, эти источники вызывают завихренне атмосферы призабойного пространства, чем препятствуют осаждению распыленной воды. Кроме того, взрывные газы, охладившись при смешивании с атмосферой, флегматизированной предохранительной средой, также могут оказывать определенное пламегасящее действие.

Изучение влияния различных факторов на эффективность действия водораспылительных завес показало следующее. Взрыв заряда предохранительного ВВ в мортيره с выбросом продуктов детонации в создаваемую водяную завесу приводит к снижению объема распыляемой воды, необходимой для предотвращения воспламенения метано-воздушной смеси, примерно в три раза. При этом время эффективного действия завесы не снижается. Это дает основание предположить, что через 20—25 мсек после взрыва заряда в мортيره вода, находящаяся в распыленном облаке, испаряется, взрывные газы охлаждаются и поэтому в общем они оказывают такое значительное флегматизирующее действие на метано-воздушную смесь. После конденсации пара вода и завеса уже не обладает предохранительными свойствами.

Экспериментальные взрывания показали, что взрыв заряда также не уменьшает эффективного радиуса действия завесы.

Взвешенная взрывным способом угольная пыль и кусочки угля в опытном штреке из расчета примерно 600 г на 1 м³ воздуха, которые имитировали действие отбитой горной массы, не оказывают существенного влияния на эффективность и время действия водораспылительной завесы. Отмечается даже некоторое сокращение количества распыленной воды, необходимой для предотвращения воспламенения метано-воздушной смеси в этих условиях. Очевидно, результаты, полученные с угольной пылью, будут справедливы и при воздействии на водяную завесу породной пыли, так как последняя обладает большой теплопоглощающей способностью.

Таким образом, в условиях, когда на распыленную воду воздействуют продукты взрыва и угольная пыль с кусочками угля, предохранительное действие завесы практически не уменьшается.

§ 10. Условия применения водораспылительных завес в шахтах

Водораспылительные завесы рекомендованы как средство предотвращения воспламенения метана и угольной пыли в подготовительных и парезных выработках угольных шахт при производстве взрывных работ [31]:

а) по углю или по породе в угольных и смешанных забоях на пластах с относительным выделением метана свыше 5 м^3 на 1 т суточной добычи;

б) по углю и по породе в угольных и смешанных забоях при проведении выработок на пластах, опасных по пыли, независимо от их категории по газу;

в) в забоях с трещиноватым массивом и при суфлярном выделении метана;

г) на пластах, склонных к внезапным выбросам угля и газа, а также в выработках, проводимых по выбросоопасным породам.

Кроме того, водяные завесы могут использоваться для предотвращения воспламенения метана и угольной пыли в очистных забоях угольных шахт и для борьбы с пылеобразованием при взрывных работах в рудниках и шахтах. В последнее время они применяются для борьбы со взрывами пыли горючих сланцев при ведении взрывных работ в подготовительных выработках и в очистных забоях сланцевых шахт.

Радиус эффективного действия зоны водяной завесы по метану, получаемый при распылении воды из одного сосуда, составляет 2,5—3,5 м. Поэтому общая зона надежного защитного действия такой завесы при параметрах короткозамедленного взрывания, принятых в угольных шахтах, опасных по газу или пыли, составляет до 3 м в горизонтальном и до 2,5 м в вертикальном направлении.

Сущность основных рекомендаций по практическому применению водораспылительных завес сводится к следующему.

Общий расход воды в сосудах на взрывание принимается из расчета не менее 5 л на 1 м^2 поперечного сечения выработки вчерпе. Водяные завесы, способные локализовать взрыв метана в забое при двойном расходе воды по сравнению с общепринятым, следует применять в наиболее опасных условиях ведения взрывных работ: в забоях с суфлярным выделением метана, при сотрясательном взрывании в подготовительных выработках и при взрывании по углю на пластах с относительным выделением метана более 10 м^3 на 1 т суточной добычи по участку.

В выработках, проводимых по пластам, опасным по пыли, но не опасным по газу, а также в случаях использования для взрывных работ ВВ повышенной предохранительности V класса инициирование зарядов ВВ во врубовых шпурах и в сосудах с водой можно производить одновременно электродетонаторами мгновенного действия. Сосуды с водой в этих условиях следует располагать по схемам, показанным на рис. 14.

В выработках с незначительным выделением метана, проводимых только по породе, при использовании водяных завес допускается применение неприехохранительных ВВ при условии, что содержание метана в забое перед взрыванием будет менее 1%.

При использовании для взрывных работ неприехохранительных ВВ, а также предохранительных ВВ IV класса могут применяться электродетонаторы мгновенного действия во врубовых шпурах и

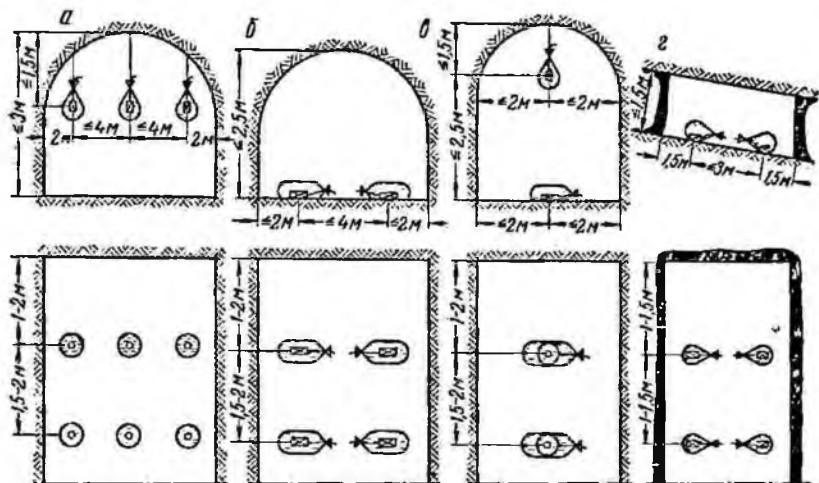


Рис. 14. Типовые схемы расположения в угольных и породных забоях с одной обнаженной поверхностью сосудов с водой емкостью:

а — 20—25 л; б — 40—50 л; в — 20—25 и 40—50 л; г — 20—25 л, укладываемых на почву выработки

сосудах с водой при создании водораспылительной завесы, способной локализовать начавшийся взрыв метано-воздушной смеси. Сосуды с водой следует располагать не менее чем в два ряда с расстоянием между ними 1,5—2 м (рис. 15), а удельный расход воды в завесе принимать не менее 10 л на 1 м² поперечного сечения выработки вчерне. При использовании других ВВ распыление воды в забое выработки целесообразно производить за 25—30 мсек до взрыва шпуровых зарядов.

При использовании водораспылительных завес максимальное время последней ступени замедления электродетонаторов короткозамедленного действия при взрывных работах в угольных и смешанных забоях не должно превышать 200 мсек (с учетом разброса по времени срабатывания). Инципирование шпуровых зарядов в выработках, проводимых только по породе, следует осуществлять электродетонаторами ЭДКЗ с максимальным временем замедления последней ступени не более 300 мсек с учетом разброса.

Электродетонаторы зарядов, размещенных в шпурах и в сосудах с водой, соединяются в общую взрывную сеть последовательно и взрываются от одного импульса тока взрывной машинки.

В забоях выработок, где взрывание зарядов разрешается производить в два приема, водяные завесы создаются при каждом приеме взрывания.

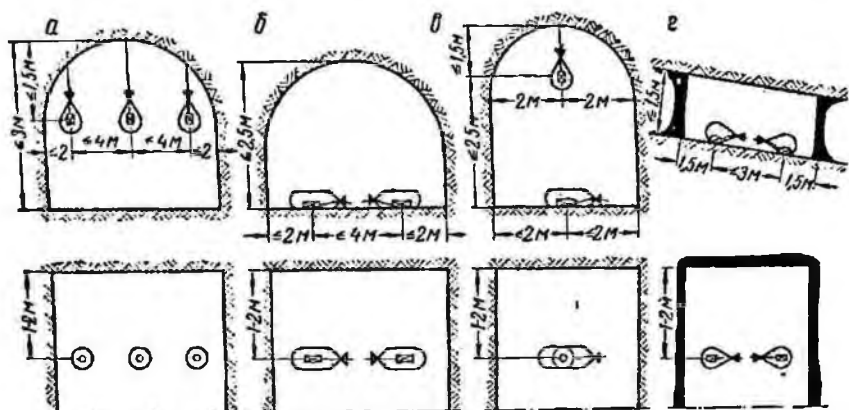


Рис. 15. Типовые схемы расположения в выработках для создания локализирующей завесы сосудов с водой емкостью:

а — 20—25 л; б — 40—50 л; в — 20—25 л и 40—50 л; г — 20—25 л, укладываемых на почву выработки

Для создания предохранительной среды во всем призабойном пространстве полиэтиленовые сосуды с водой необходимо располагать на расстоянии 1—2 м от забоя, подготовленного к взрыванию, и не более 2 м от боков выработки, считая по горизонтали. Расстояние от кровли выработки целесообразно принимать не более 1,5 м для подвешиваемых сосудов и 2,5 м для сосудов, укладываемых на почву выработки.

В выработках высотой более 2,5 м могут одновременно использоваться сосуды обоих размеров (см. рис. 14 и 15, в). Распыление воды в этом случае целесообразно производить при помощи взрыва патронов ПВП-1-У или угленита Э-6 весом 200 г.

При ведении взрывных работ в забоях с опережающими скважинами большого диаметра, заполнение которых забоечным материалом затруднено или невозможно, для предотвращения воспламенения метано-воздушной смеси в них может создаваться предохранительная среда. Для этого в устье каждой скважины необходимо помещать полиэтиленовый сосуд с водой емкостью не менее 10 л (рис. 16). Распыление воды в этом случае осуществляется за 20—30 мсек до взрывания зарядов в шпурах, длину которых целесообразно принимать не более 2,5 м.

Полиэтиленовый сосуд с водой емкостью 40—50 л при исполь-

зовании в нем патрона ПВП-1-У или углянта Э-6 весом 200 г может применяться для дробления крупных кусков породы на почве выработки шахты, опасной по газу или пыли. Использование водонаполненных сосудов с зарядами ВВ в них для разбучивания угля в печах (гезепках) не рекомендуется.

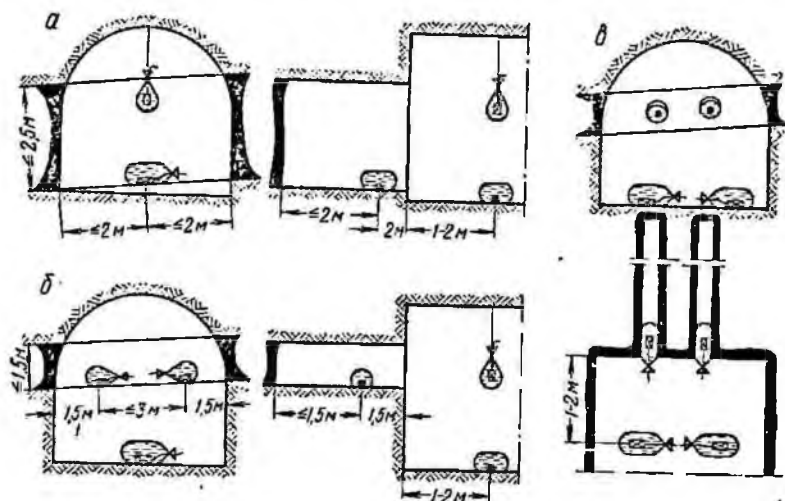


Рис. 16. Типовые схемы расположения в выработках с двумя обнаженными поверхностями сосудов с водой емкостью:
а — 40—50 л; б — 20—25 л; в — 10—12 л (в скважине)

Применение водораспылительных завес для создания предохранительной среды при взрывных работах в подготовительных выработках шахт, опасных по газу или пыли, дало положительные результаты. Было показано, что кроме повышения безопасности этот способ позволяет улучшить санитарно-гигиенические условия труда шахтеров за счет пылеподавления и снижения ядовитых продуктов взрыва.

В последние годы водораспылительные завесы используются в отдельных случаях для предотвращения воспламенения метана в очистных забоях угольных шахт и для борьбы со взрывами пыли в сланцевых шахтах. В этом случае при мощности пластов до 2,5 м полиэтиленовые сосуды целесообразно располагать на почве выработки при взрывании по углю на расстоянии 5—6 м, по горючим сланцам на расстоянии 6—8 м один от другого.

§ 11. Форсуночная водяная завеса длительного действия

Эффективное время действия водяных завес, как указывалось раньше, составляет 500—600 мсек и поэтому они не могут предотвращать воспламенения метано-воздушной смеси от выгорающих

зарядов. В связи с этим было проведено изыскание возможности создания форсуночной водяной завесы длительного действия [32].

Для борьбы с пылью нашей промышленностью освоены и выпускаются следующие туманообразователи: АСШУ-М, НИГРИ-К₂, НИГРИ-К₃, ОН-1, ТОН-5 и ряд других.

Одновременное использование энергии сжатого воздуха и давления воды в туманообразующих системах обеспечивает значительное диспергирование воды. Диаметр капель образующегося тумана в них не превышает 10—50 мк, поэтому распыленная вода длительное время удерживается в воздухе. Однако проверка эффективности предохранительного действия этих завес показала, что существующие туманообразователи, несмотря на высокую степень диспергирования воды, не способны создавать водяную завесу такой концентрации, которая в состоянии предотвратить взрыв метана и его распространение. Попытки увеличить концентрацию воды образующего тумана за счет изменения режима работы туманообразователей не дали положительных результатов, так как увеличение расхода воды значительно ухудшает степень ее диспергирования.

Для повышения пламегасящего действия водяной завесы в воду добавляют соли, которые воздействуют на реакцию окисления метана как ингибиторы. Наибольшим отрицательным каталитическим действием обладают соли щелочных металлов [33, 27].

Соляно-водяная завеса при проведении экспериментальной проверки эффективности ее пламегасящего действия создавалась распылением раствора хлористого калия или бикарбоната калия с концентрацией около 2,5%. Таким образом, в штреке получалось облако с содержанием до 35 г такого диспергированного раствора или 8—9 г соли в 1 м³ взрывчатой метано-воздушной смеси. Было показано, что даже наличие мелко распыленного раствора такой концентрации не позволяет получать стабильных результатов пламегасящего действия. Противоречие между известными литературными данными [27, 33] и полученными нами результатами по эффективности действия ингибирующих солей объясняется использованием в наших случаях мощного источника воспламенения метано-воздушной смеси в виде взрыва свободно подвешенного заряда аммонита № 6-ЖВ весом 200 г.

Эффективные результаты были получены при использовании специальных форсуночных установок, в которых использовались распылители с малым диаметром выходных отверстий и вода к ним подавалась под определенным избыточным давлением. Принципиальная схема такой установки показана на рис. 17. Время эффективного действия такой установки практически является неограниченным.

Воспламенение метана от взрывных источников воспламенения при использовании предохранительных ВВ, как указывалось ранее, надежно предотвращается при концентрации воды в завесе

около 100 г на 1 м³ взрывчатой метано-воздушной смеси, диспергированной до размера капель 100 мк и менее.

Эффективность создаваемой завесы длительного действия определяется следующими основными факторами: диаметром и ти-

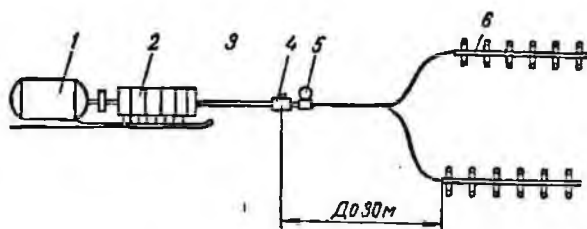


Рис. 17. Принципиальная схема установки для создания форсуночной водяной завесы длительного действия:

1 — электромотор; 2 — насос; 3 — водопровод; 4 — расходомер воды; 5 — манометр; 6 — коллектор

пом распылительных форсунок, их количеством в коллекторе и величиной давления воды. Степень диспергирования получаемого облака зависит от диаметра сопла и величины избыточного давления воды, а производительность — от типа и количества форсунок, диаметра их сопла и давления распыляемой воды.

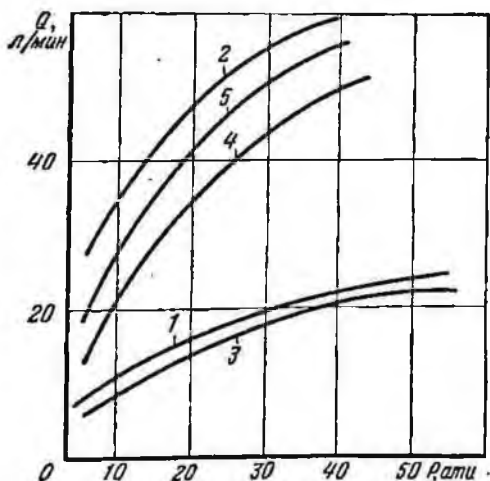


Рис. 18. Влияние давления воды на производительность форсунки:

1 и 2 — конусной с диаметром сопла соответственно 1 и 1,7 мм; 3, 4 и 5 — зонтичной с диаметром сопла соответственно 1; 1,7 и 2,1 мм

Необходимая дисперсность создаваемой завесы обеспечивается в зонтичных форсунках, которые рекомендованы для водораспыления, при диаметре выходного отверстия 1 мм и давлении подаваемой воды 10 *ати* и более, а также при диаметре 2,1—2,5 мм и

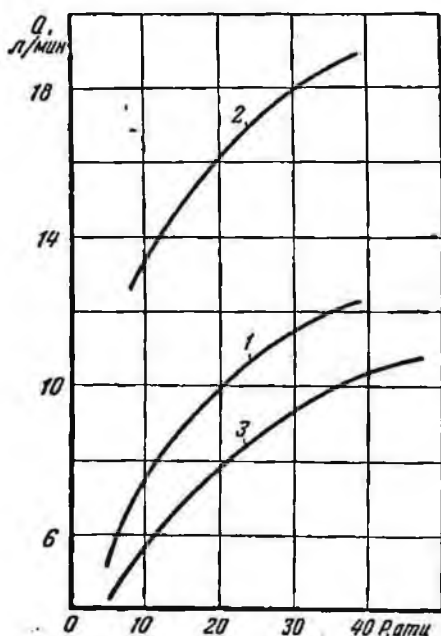


Рис. 19. Влияние давления воды на производительность вихревой форсунки:
1 и 2 — конусной с диаметром сопла соответственно 2,1 и 2,9 мм; 3 — зонтичной с диаметром сопла 2,9 мм

давления воды около 40 *ати*. Так, например, средний радиус капель в завесе при подаче воды к форсункам с диаметром выходного отверстия, равным 1 мм, под давлением от 10 до 25 *ати* равняется соответственно 51 и 39 мк.

Зависимость производительности форсунок от диаметра сопла, наличия центрального отверстия во вкладыше-завихрителе и его размеров, а также от давления воды показана на рис. 18, 19 и 20. Повышение давления воды с 5 до 55 *ати* (рис. 18) приводит к увеличению производительности форсунки почти в 3,5 раза, а при изменении диаметра сопла с 1 до 2,9 мм — более чем в 5 раз (рис. 20). Значительное влияние на расход воды оказывает центральное отверстие в завихрителе (рис. 19). Проведенные наблюдения также показали, что конусные форсунки производительнее

зонтичных с таким же диаметром сопла более чем в 1,5—2 раза. Значительное влияние на эксплуатационные показатели форсуночной установки в производственных условиях оказывают размеры создаваемой завесы и качество ее на разных участках длины. Факел одиночной форсунки при давлении от 5 до 25 *ати*, как

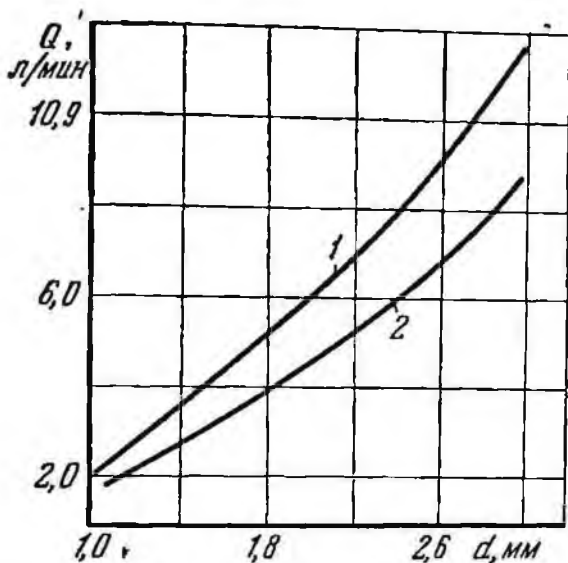


Рис. 20. Производительность форсунок в зависимости от диаметра сопла при давлении 25 *ати*:
1 — теоретическая для центробежных форсунок; 2 — экспериментальная для вихревых зонтичных форсунок

известно, состоит из двух основных частей: из конической — тонкой водяной пленки и из цилиндрической — диспергированной воды. При давлении от 20—25 до 50 *ати* наблюдается третья часть облака, представленная пульсирующим тонкоизмельченным туманом, который появляется на расстоянии 1—1,5 м от сопла форсунки. Размер факела в поперечном сечении пульсирующей части завесы при давлении подаваемой воды 35—55 *ати* составляет 1,5—2,5 м.

В процессе проведения наблюдений (табл. 16) было отмечено, что длина факела с повышением давления значительно увеличивается. Зависимость длины факела от давления в принятом для практики интервале описывается формулой

$$L = aP + b, \text{ м,}$$

где P — давление воды, *ати*;

a , b — коэффициенты, определяемые экспериментально.

Для зонтичных и конусных форсунок значения коэффициентов a и b приведены в табл. 17.

Таблица 16

Диаметр сопла, мм	Диаметр отверстия вкладыша, мм	Размеры факела (м) при давлении воды, атм								
		5	10	15	20	25	30	40	50	55
1,0	—	$\frac{2,3}{0,35}$	$\frac{3,2}{0,53}$	$\frac{3,6}{0,54}$	$\frac{4,5}{0,46}$	$\frac{4,8}{0,45}$	$\frac{5,5}{0,42}$	$\frac{6,3}{0,39}$	$\frac{7,2}{0,37}$	$\frac{8,0}{0,35}$
		$\frac{2,7}{0,53}$	$\frac{2,5}{0,60}$	$\frac{4,2}{0,62}$	$\frac{5,0}{0,58}$	$\frac{6,0}{0,55}$	$\frac{7,2}{0,55}$	$\frac{8,5}{0,5}$	$\frac{9,8}{0,47}$	—
1,0	1,0	$\frac{3,4}{0,28}$	$\frac{4,1}{0,38}$	$\frac{4,8}{0,38}$	$\frac{5,8}{0,36}$	—	$\frac{7,5}{0,34}$	—	$\frac{9,3}{0,3}$	—
		$\frac{4,2}{0,55}$	$\frac{5,9}{0,45}$	$\frac{7,5}{0,45}$	$\frac{9,0}{0,4}$	—	—	$\frac{12,0}{0,3}$	—	—

Примечание. В числителе дроби приведена длина факела, в знаменателе — поперечный размер его.

Таблица 17

Коэффициент	Зигзаговые форсунки с диаметром сопла, мм		Конусные форсунки с диаметром сопла, мм	
	1,0	2,1	1,0	2,1
a	0,108	0,159	0,171	0,216
b	2,03	2,08	2,42	3,42

В то же время размеры факела в поперечном сечении на расстоянии 1 м от сопла увеличиваются, а затем уменьшаются (рис. 21). Такая закономерность, полученная в результате проведения наблюдений, показывает, что наличие центрального отверстия вкладыша увеличивает длину факела в 1,4—1,8 раза, а его поперечные размеры уменьшает на 20—25%.

Распыление воды при помощи форсуночных установок сопровождается движением воздушного потока в зоне действия создаваемой завесы. Влияние движущейся диспергированной воды на перемещение воздуха изучалось в закрытом помещении, где практически отсутствовала вентиляция. Используемая при этом распылительная установка состояла из дискового коллектора диаметром сопла 1 мм. Данные замеров приведены в табл. 18.

Из данных табл. 18 видно, что скорость воздушного потока, увлекаемого диспергированной водой, зависит от расстояния до распылителя и от давления, при котором происходит распыление

Давление воды, <i>ати</i>	Скорость увлекаемого воздушного потока (<i>м/сек</i>) при расстоянии от центра распылителя, <i>м</i>					
	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35
15	0,5	0,65	0,46	0,35	—	—
20	1,6	—	—	—	—	—
25	1,9	0,77	0,57	0,44	0,26	—
30	2,25	—	—	—	—	—
35	2,35	1,45	0,70	0,47	0,31	0,25

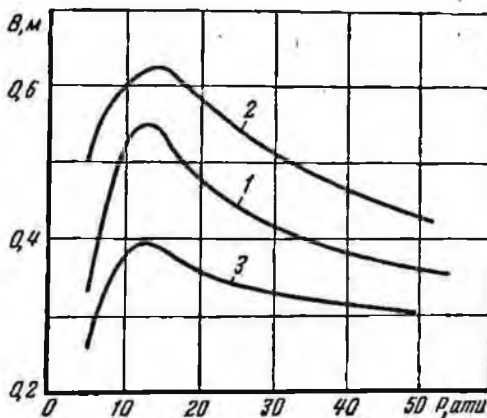


Рис. 21. Зависимость поперечных размеров факела от давления воды на расстоянии 1 м от сопла форсунки:

1 и 2 — зонтичной с диаметром сопла соответственно 1 и 2,1 мм; 3 — конусной с диаметром сопла 1 мм

воды. При величине ее давления 35 *ати* максимальная скорость движения воздуха достигает 2,35 *м/сек*.

Радиальное распределение скорости воздушного потока и зависимость ее от давления распыляемой воды показана на рис. 22 и 23. Считая, что увлечение потока воздуха струей диспергированной воды происходит на расстоянии 30—40 см от факела при давлении 15—35 *ати*, можно определить сечение воздушного потока по формуле

$$S_{в. п} = \pi (r_3^2 - r_p^2),$$

где r_3 — радиус зоны увлечения воздуха;
 r_p — радиус дискового распылителя.

Зная сечение воздушного потока и распределение скорости в нем, можно подсчитать количество увлекаемого воздуха (табл. 19).

Из данных табл. 19 видно, что при диспергировании воды под давлением 35 атм дисковым коллектором с семью форсунками типа ЗФ-0,23-75 количество воздуха, увлекаемого в минуту, составляет до 30 м³. Использование подобных распылительных уста-

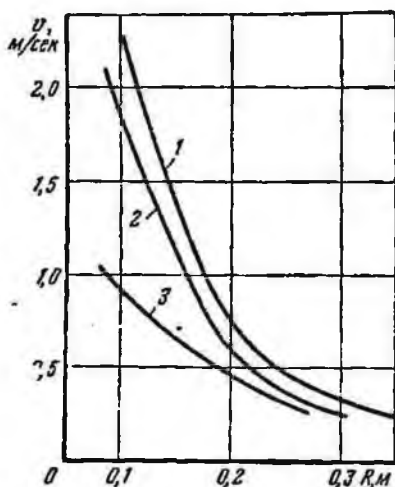


Рис. 22. Радиальное распределение скорости воздушного потока, увлекаемого распыленной водой из зонтичной форсунки с диаметром сопла 1 мм при давлении воды:
1 — 35 атм; 2 — 25 атм; 3 — 1,5 атм

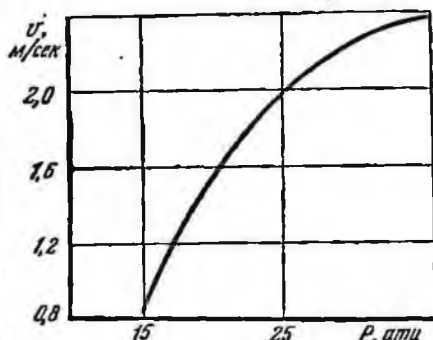


Рис. 23. Зависимость скорости увлекаемого воздушного потока от давления распыляемой воды

Таблица 19

Показатели	Давление воды, атм		
	15	25	35
Максимальная скорость воздуха, м/сек . .	0,9	1,9	2,35
Количество увлекаемого воздуха, м ³ /мин	11,3	23,8	29,4

новок в шахтах улучшает условия проветривания призабойного пространства.

Характер изменения количества захватываемого воздуха в зависимости от давления воды показан на рис. 24, а уменьшение максимальной скорости воздушного потока в зависимости от количества форсунок в распылителе — на рис. 25.

При производстве взрывных работ в шахте, как известно, образуется большое количество взвешенной угольной и породной пыли, которая, осаждая водяное облако, снижает эффективность

предохранительного действия создаваемой форсуночной завесы. Для определения степени этого влияния были проведены дополнительные исследования. Вода в опытном штреке распылялась зонтичными форсунками с диаметром сопла 1 мм. Пыль вводилась взрывным способом из специальной mortarы или из полиэтиленовых сосудов, которые располагались на расстоянии 0,9—1 м от воспламеняющего заряда предохранительного ВВ весом 0,2—0,8 кг.

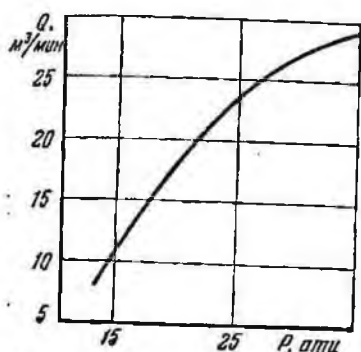


Рис. 24. Зависимость количества увлекаемого воздуха от давления воды

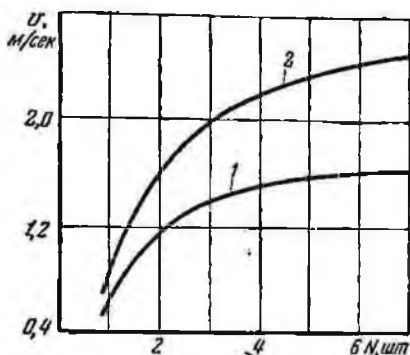


Рис. 25. Зависимость максимальной скорости воздушного потока от числа форсунок N в распылителе при давлении:

1 — 20 атм; 2 — 40 атм

Установлено, что пыле-воздушная смесь не взрывается от взрыва свободно подвешенного заряда предохранительного аммонита № 6-ЖВ весом до 0,8 кг при давлении воды 5 атм и более. Добавление же метана резко увеличивает воспламеняемость взрывчатых пыле-воздушных смесей. В процессе изучения эффективности действия форсуночной завесы также определены влияние веса, диаметра и типа ВВ воспламеняющегося заряда на увеличение количества взрывов метана.

Увеличение веса воспламеняющегося заряда требует повышения расхода распыляемой воды. Из рис. 26 видно, что в определенных пределах как для предохранительного аммонита ПЖВ-20, так и для предохранительного аммонита № 6-ЖВ отмечается линейная зависимость.

Расход распыленной воды в завесе, исключаящей воспламенение метана, в зависимости от веса взрывающегося заряда описывается формулой

$$Q = ag + b, \text{ л/мин.}$$

где g — вес воспламеняющегося заряда, кг;
 a, b — коэффициенты.

Подставив значения коэффициентов, вычисленных методом наименьших квадратов, получим:
для аммонита ПЖВ-20

$$Q = 59,6g + 12,15;$$

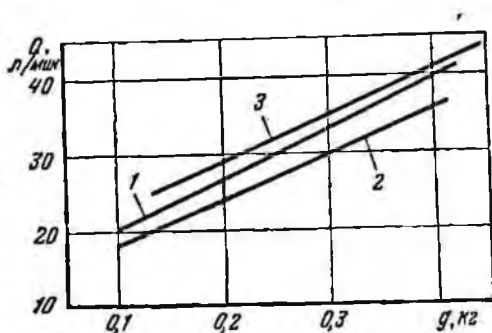


Рис. 26. Зависимость необходимого расхода распыляемой воды от веса воспламеняющего заряда для взрыва:

1 — аммонита № 6-ЖВ свободно подвешенного; 2 — аммонита ПЖВ-20 свободно подвешенного; 3 — аммонита ПЖВ-20 в угловой мортире

для аммонита № 6-ЖВ

$$Q = 62,4g + 13,9.$$

Проведенные наблюдения показали, что на воспламеняющую способность метана могут оказывать влияние условия взрывания зарядов. Так, если воспламеняющий заряд взрывать не свободно подвешенным, а в угловой мортире, то для предотвращения воспламенения метано-воздушной смеси необходимое количество воды увеличится в среднем на 25—30%.

Влияние диаметра воспламеняющего заряда на необходимый расход диспергированной форсунками воды показано на рис. 27, из которого видно, что при увеличении диаметра патронов ВВ с 36 до 44 мм необходимый расход воды в завесе, обеспечивающей предотвращение воспламенения метана, увеличивается на 40%.

Для повышения пламегасящего действия водяной форсуночной завесы в воду добавлялся хлористый калий, используемый в качестве ингиби-

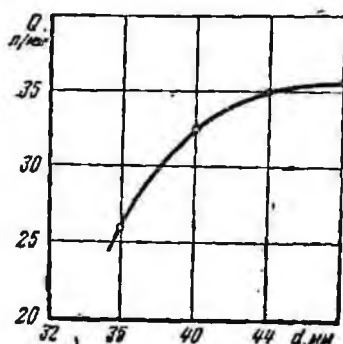


Рис. 27. Зависимость расхода воды от диаметра воспламеняющего заряда

тора. Применение такого расчета с содержанием указанной соли в количестве 25% позволяет получать эффективные результаты при удельном расходе воды, в 2,5 раза меньшем по сравнению с чистой водой.

Описанные результаты исследований позволяют осуществить выбор параметров форсуночного способа создания предохранительных водяных завес длительного действия.

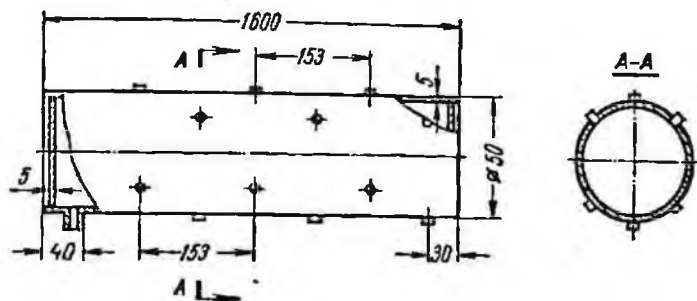


Рис. 28. Трубчатый коллектор

При давлении воды 15—30 *ати* наиболее целесообразным является применение зонтичных форсунок с диаметром сопла 1,0—1,2 мм. В этом случае форсунки можно монтировать на трубчатых коллекторах (рис. 28) на расстоянии 15—25 см друг от друга, что позволяет создавать равномерное распределение воды в завесе. Необходимое количество таких форсунок рассчитывается по формуле

$$N = \frac{S_{\text{выпр}} L q_{\text{уд}}}{q_{\text{ф}}}$$

где $S_{\text{выпр}}$ — сечение выработки в черне, м^2 ;
 L — длина завесы, м ;
 $q_{\text{уд}}$ — необходимый расход воды на единицу объема завесы, $\text{л/мин} \cdot \text{м}^3$;
 $q_{\text{ф}}$ — производительность форсунки при принятом давлении воды.

Учитывая сравнительно небольшую длину факела форсунок, такие распылительные установки целесообразно применять только при взрывных работах в угольных забоях сечением до 5 м^2 . Как показали шахтные испытания, эти распылители можно устанавливать на расстоянии 1,0—1,5 м от забоя, подключая их к участковому трубопроводу при помощи шлангов высокого давления. Для выработок сечением 5 м^2 при длине завесы 5 м количество форсунок будет составлять

$$N = \frac{102,5}{q_{\text{ф}}}$$

Зависимость требуемого числа форсунок от давления воды приведена на рис. 29. При давлении воды 35—55 *ати* давление факела завесы, создаваемой форсунками с диаметром сопла 1,0—2,9 *мм*, достигает 6—8 *м* и более при высокой дисперсности водяного облака. Поэтому при таких давлениях можно применять значительно меньшее число форсунок, обеспечивающих требуемую производительность. Так, для распыления воды в количестве 100 *л/мин* при давлении 40 *ати* требуется не более 10—15 форсунок с диаметром сопла 2,1—2,9 *мм*, что приводит к сокращению размеров коллектора и увеличению срока его службы. Такие распылительные устройства в шахтных условиях можно располагать на расстоянии 5—7 *м* от забоя.

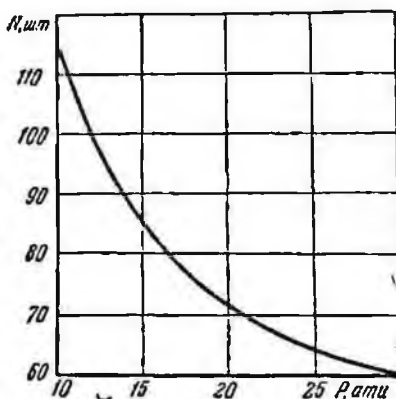


Рис. 29. Зависимость требуемого числа форсунок ЗФ-0,23-75 для выработок сечением 5 *м*² от давления распыляемой воды

Высокая скорость движения и турбулентный характер потока диспергированной воды позволяют полностью перекрывать сечение выработки даже при сосредоточенном расположении форсунок, т. е. при использовании дисковых коллекторов.

Такой способ создания предохранительной водяной завесы целесообразно осуществлять при взрывных работах в подготовительных выработках шахт, опасных по газу или пыли, с помощью высоконапорных насосов производительностью 100—150 *л/мин*. Такую высоконапорную установку можно использовать комплексно для создания водяной форсуночной завесы длительного действия, для нагнетания воды в пласт и для борьбы с пылью водными аэрозолями высоких энергий при работе выемочных машин.

Промышленные испытания форсуночных установок для создания предохранительной среды длительного действия дали положительные результаты. Внедрение таких установок позволит исключить воспламенение метана и угольной пыли от всех известных источников при взрывных работах, в том числе от выгорающего заряда ВВ. Кроме того, применение таких завес улучшает санитарные условия труда шахтеров и значительно уменьшает затраты по сравнению с другими способами создания предохранительной среды в шахтах, опасных по газу или пыли. Однако окончательные выводы о конкретных условиях применения форсуночных установок для создания водяной завесы длительного действия будут сделаны после проведения широких промышленных испытаний этого способа создания предохранительной среды в шахтах.

Глава III

ВОЗДУШНО-МЕХАНИЧЕСКАЯ ПЕНА

§ 12. Характеристика пены

Пена представляет собой непрерывную ячеистую массу, состоящую из пузырьков воздуха или другого газа, оболочкой которых является водный раствор пенообразователя. С физико-химической точки зрения это неустойчивая система, которая состоит из двух фаз — жидкой и газообразной.

Воздушно-механическая пена получается путем смешивания водного раствора пенообразователя с воздухом, т. е. при диспергировании газа в указанном растворе. Она используется для тушения пожаров, а в 1958 г. В. М. Сухаревским и др. [34] была предложена для предотвращения взрывов газа или пыли. Однако по ряду причин и прежде всего вследствие недостаточной изученности данного вопроса воздушно-механическая пена в тот период времени не нашла практического применения.

В последние годы отечественная промышленность выпускает ряд пенообразователей: ПО-1, ПО-2, ПО-6, пасту ДС-РАС и др. Наибольшее распространение из них получил пенообразователь ПО-1 (ГОСТ 6949—541), представляющий собой темно-коричневую жидкость с удельным весом 1,12—1,13 г/см³. Состав пенообразователя приведен в табл. 20. Пенообразователь ПО-1 чувствителен к примесям нефтепродуктов, так как они вызывают выпадение коагуляционного клея в осадок. При температуре -8°C и выше он застывает, но при отогревании в теплом помещении практически не теряет своих качеств. При высокой температуре компоненты интенсивно испаряются. ПО-1 густеет и перед применением его необходимо разбавлять водой. В случае, когда ПО-1 закристаллизуется, он становится непригодным к употреблению.

Пена обладает рядом специфических свойств, основными из них являются дисперсность, стойкость, вязкость и кратность. Под дисперсностью понимают размер ячеек пены. В шахтных условиях для создания предохранительной среды при взрывных работах используется пена с размером ячеек от 1,5 до 3,5 мм. От структуры пены зависит ее вязкость, которая характеризуется способностью растекаться на поверхности жидких и твердых тел и про-

Состав компонентов	Содержание, %	Назначение компонентов
Керосиновый контакт Петрова	84±3	Поверхностно-активное вещество, обеспечивающее пенообразование
Костный клей	4,5±1	Придает пене необходимую стойкость
Этиловый спирт	11±1	Снижает температуру замерзания пенообразователя до -8°С
Каустическая сода (натр едкий технический)	Около 0,5	Нейтрализует контакт Петрова

тивостоять внешнему механическому разрушающему воздействию.

Кратностью пены называют отношение полученного объема ее к объему исходного раствора. Определяется кратность объемным или весовым способом. Наиболее распространенным является объемный способ, при котором кратность определяется по формуле

$$k = \frac{V}{V_p},$$

где V — объем сосуда с пеной, л;

V_p — объем полученного раствора, л.

Различают пену низкой (до 100), средней (100—300) и высокой (более 300) кратности. Последняя применяется для создания предохранительной среды при взрывных работах в шахтах, опасных по газу или пыли.

Стойкость пены определяется временем ее существования. Через некоторое время пена разрушается и из нее начинает выделяться раствор, т. е. происходит ее синерезис. При этом пленки между пузырьками пены утончаются вследствие стекания жидкости, пузырьки лопаются, пена разрушается и, наконец, вместо пены остается одна жидкая фаза — раствор пенообразователя в воде.

Разрушение пены идет за счет стекания жидкости в между-пузырьковое пространство и укрупнения пузырьков, в первую очередь в верхних слоях. Основной причиной стойкости пузырьков в нижних слоях пены является «подпитка» ее за счет стекания жидкости из верхних слоев.

Стойкость пены определяется скоростью синерезиса. Обычно для характеристики стойкости принимают время выделения 50% раствора, содержащегося в пене, так как в первую половину времени она разрушается значительно быстрее, чем во вторую. Стойкость пены зависит от количества пенообразователя в системе и от физико-химического состава воды. Стойкость пены, а также способность жидкости к пенообразованию определяется ее поверхностным натяжением. Наименьшее поверхностное натяжение существует при содержании ПО-1 в воде в количестве 4%; такой водный раствор пенообразователя рекомендуется для получения воздушно-механической пены в шахтах.

§ 13. Пеногенераторы

Высокократная воздушно-механическая пена получается с помощью передвижных пеногенераторов непрерывного действия с внешним пенообразованием. В основу этих конструкций положен принцип продувания струи воздуха через пористую, непрерывно увлажняемую водным раствором пенообразователя перегородку. При этом поры сетчатой перегородки периодически перекрываются водяной пленкой, продуваясь через которую струйка воздуха образует элементарный пузырек пены.

Действительный процесс пенообразования на сетке в генераторе состоит из множества элементарных процессов образования пузырьков, протекающих непрерывно.

Существующие типы установок по получению высокократной пены можно разделить на три группы: пеногенераторы, работающие спаренно с вентилятором местного проветривания (ПГУ-2, ПГУ-100 и др.), пеногенераторы, работающие от сети сжатого воздуха (ПГУ-М), и пеногенераторы без принудительной подачи воздуха (ПГВ-0,5) [35, 36].

Для получения пены в шахтных условиях наиболее подходящими являются пеногенераторы типа ПГУ (рис. 30), которые состоят из цилиндрического корпуса 1 со смотровым окном-люком 2, пакета сеток 3, патрубка с распылительной насадкой 4, салазок 5.

Пакет сеток собран из двух-трех металлических или льняных сеток с размерами ячеек от $1,5 \times 1,5$ мм до $3,5 \times 3,5$ мм. Распылительная насадка (рис. 31) состоит из корпуса и винтового вкладыша с отверстиями.

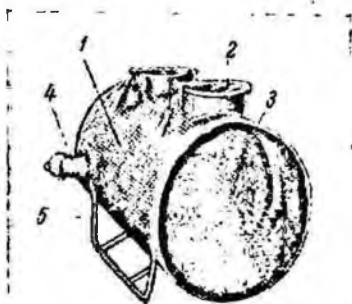


Рис. 30. Пеногенератор ПГУ-2

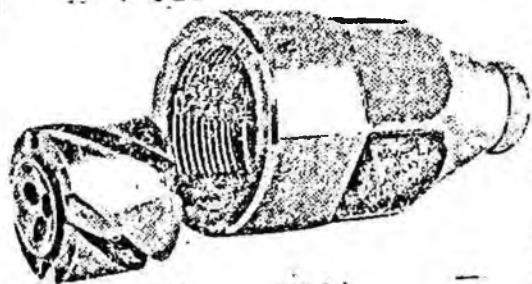


Рис. 31. Распылительная насадка

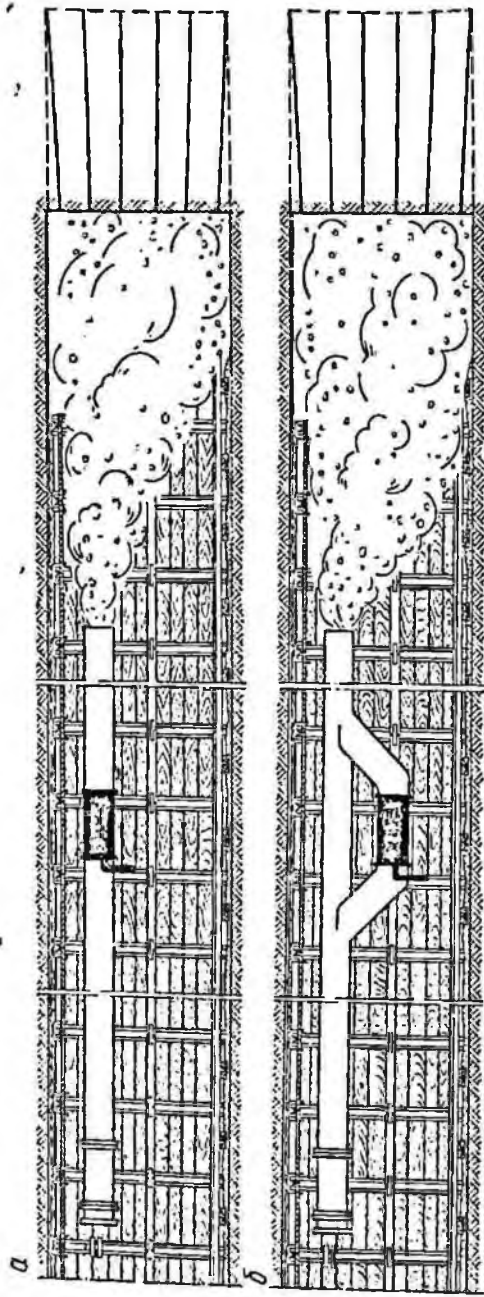


Рис. 32. Схемы соединения пеногенератора с вентилятором местного проветривания

Известны две схемы соединения пеногенераторной установки с вентилятором местного проветривания: последовательная и параллельная. Рациональная дальность транспортировки пены при последовательной схеме (рис. 32, а) составляет всего 30 м, уже при дальности 80 м происходит полное разрушение пены. Параллельно-замкнутая схема соединения пеноге-

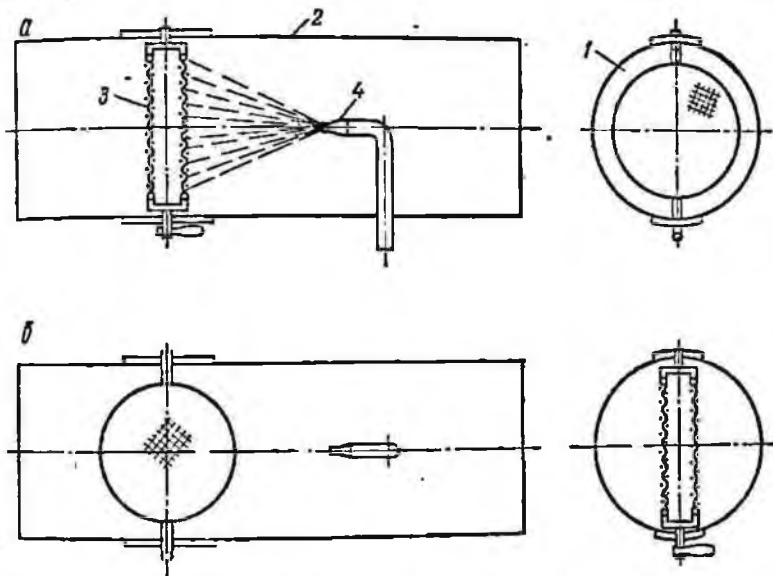


Рис. 33. Схема пеногенератора с кольцевым зазором ПГЗ-1:
а — рабочее положение; б — нерабочее положение

нератора с вентиляционным ставом (рис. 32, б) разработана КНИУИ совместно со штабом ВГСЧ Карагандинского бассейна в целях увеличения дальности транспортировки пены до 300 м [37]. Сущность этой схемы состоит в том, что пеногенератор под-соединяется параллельно вентиляционному ставу. Такое соедине-ние позволяет часть воздуха использовать только для транспор-тировки пены, т. е. пускать его по прямой ветви, минуя пеноге-нератор. Однако эта схема по сравнению с последовательной, как показали промышленные испытания, имеет ряд существенных не-достатков и прежде всего является более громоздкой.

Для использования преимущества применявшейся в Караган-динском бассейне параллельно-замкнутой схемы (наличие сво-бодного воздуха в транспортируемой пене) нами и Карагандин-ским отделением ВостНИИ разработаны пеногенераторы ПГЗ-1 с кольцевым зазором 1 (рис. 33), устраняемым меж-ду цилиндрическим корпусом 2 и пакетом сеток 3. Наличие за-зора создает благоприятные условия для транспортировки пены, так как часть воздуха, проходящего через кольцевой зазор и не

участвующего в пенообразовании, как бы заключает ее в перемещающуюся оболочку. При этом значительно снижается интенсивность разрушения пены.

Пакет сеток за счет перемещения вдоль продольной оси пеногенератора устанавливается таким образом, чтобы диаметр факела водного раствора пенообразователя, создаваемого распылительной насадкой 4, был равен диаметру сеток. Уменьшение диаметра сеток в пеногенераторе ПГЗ-1 по сравнению с ПГУ-2 несколько снижает его первоначальную производительность, но это в значительной степени компенсируется уменьшением интенсивности разрушения пены. Кроме того, при неработающем пеногенераторе для уменьшения аэродинамического сопротивления пакет сеток может поворачиваться и располагаться параллельно движению воздушного потока.

§ 14. Влияние свойств воды и скорости воздушного потока на пенообразование

Важными характеристиками воды, имеющими большое значение в процессе пенообразования, являются кислотность и жест-

Таблица 21

Физико-химические свойства воды		Количество шпакт		
показатели	предел изменения	абсолютное	относительное, %	
Кислотность (рН)	До 3,5	3	2,5	
	От 3,5 до 7	5	4,2	
	От 7 до 8	97	80,1	
	От 8 до 9	16	13,2	
Жесткость, мг-экв/л:	очень мягкая	0	0	
	мягкая	3	2,5	
	сердней жесткости	0	0	
	жесткая	11	9,0	
	очень жесткая	От 9 до 20	36	29,7
		От 20 до 30	41	34,7
		От 30 до 50	26	21,5
		От 50 до 100	4	2,9
Содержание полуторных окислов	0	85	70,5	
	От 0,01 до 1	24	19,8	
	От 1 до 2	5	4,1	
	От 2 до 5	2	1,6	
	От 15 до 100	0	0	
	От 100 до 1000	3	2,4	
	Более 1000	2	1,6	
	Взвешенные вещества, мг/л:	нет осадка	2	1,6
очень незначительный осадок		45	37,3	
незначительный осадок		56	46,3	
с осадком		7	5,8	
очень большой осадок		11	9,0	

кость [39]. Состав шахтных вод меняется в широком диапазоне и для шахт Донбасса характеризуется следующими данными: жесткость колеблется от 0,46 до 100,65 мг-экв/л, а кислотность от 1 до 10 рН. Анализ физико-химических свойств подземных вод более 120 шахт комбината Донецкуголь представлен в табл. 21.

Данные табл. 21 показывают, что кислотность большинства шахтных вод находится в пределах от 7 до 8 рН, жесткость — от 9 до 50 мг-экв/л. Содержание полуторных окислов, как правило, является небольшим, а количество взвешенных веществ во многих случаях составляет от 100 до 700 мг/л.

Изучение изменения относительных величин усадки и выделения раствора с течением времени в зависимости от кислотности и жесткости воды показало следующее. При жесткости воды, равной 7—8 мг-экв/л, время выделения 80% раствора из пены не зависит от кислотности воды. Однако время полного выделения раствора из пены, полученной на нейтральной воде той же жесткости, примерно в 2 раза больше, чем на воде с рН=1, и в 1,5 раза больше, чем на воде с рН=10. При жесткости 50—200 мг-экв/л это различие сохраняется на протяжении всего процесса. Время относительной усадки пены, полученной на воде различной кислотности и жесткости, изменяется примерно по такому же принципу.

Воздушно-механическая пена после ее создания начинает осаждаться. Для определения изменения величины воздушного зазора между поверхностью пены и кровлей выработки в лабораторно-полигонных и в шахтных условиях с помощью скоростной съемки изучался процесс разрушения пены. Были получены графические зависимости изменения величины усадки пены в различных условиях (рис. 34), из которых следует, что в полигонных условиях скорость разрушения пены колеблется в пределах 3—5 см/мин. Величина усадки пены с учетом возможного первоначального зазора между кровлей и ее поверхностью, равного 25—30 см, составляет через 5 мин — 10 см, через 10 мин — 70 см и через 20 мин — 100 см. Эти результаты получены при температуре окружающей среды 23—25° С, а при температуре воздуха, например, 7° С за 60 мин пена дает усадку всего на 30 см.

Процесс разрушения пены зависит от наличия влаги и пыли в рудничной атмосфере. Он замедляется при высокой относительной влажности и ускоряется при наличии пыли. Причем, если в воз-

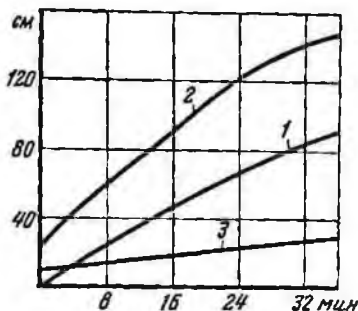


Рис. 34. Изменение величины усадки пены:

1 — в шахте; 2 — на поверхности при температуре 25° С; 3 — на поверхности при температуре 7° С

духе содержится преимущественно угольная пыль, процесс разрушения пены протекает в 2,3 раза быстрее, чем при наличии породной пыли.

Опыт применения воздушно-механической пены в шахтных условиях указывает на наличие минимальной и максимальной скоростей воздушного потока перед сетками пеногенератора, при которых пенообразование не происходит. Существование минималь-

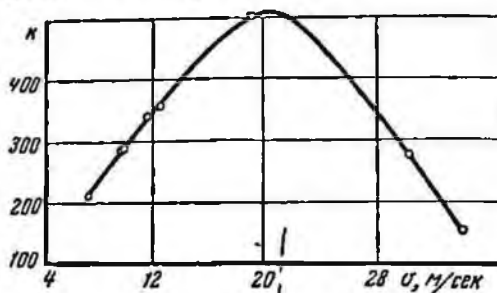


Рис. 35. Зависимость кратности пены от скорости воздушного потока

ной скорости можно объяснить тем, что сила давления, возникающая при торможении потока воздуха, идущего к ячейкам сетки, не в состоянии преодолеть сил капиллярного натяжения в распыленном растворе.

Существование максимальной скорости объясняется превышением скорости увеличения поверхности пузырьков над скоростью диффузии молекул пенообразователя из глубины капель раствора к их поверхности. При приближении скорости воздушного потока к максимальному значению наступает такой момент, когда сплошной поток пены разрывается, и от сеток отрываются отдельные хлопья. При дальнейшем увеличении скорости воздуха количество хлопьев становится меньше, и, наконец, при определенной скорости процесс пенообразования прекращается.

Значительное влияние на характер транспортировки пены оказывает ее кратность. Были проведены исследования зависимости кратности воздушно-механической пены от скорости воздушного потока в трубопроводе перед пакетом сеток генератора, соединенного последовательно с вентилятором местного проветривания. При проведении наблюдений раствор, содержащий 3—4% пенообразователя ПО-1, готовился на нейтральной воде с жесткостью 6—8 мг-экв/л и насосом подавался через распылительную насадку на пакет, состоящий из двух сеток с ячейками 2×2 мм. На основании полученных данных установлена функциональная зависимость кратности пены от скорости воздушного потока в пеногенераторе перед сетками (рис. 35). Из этой зависимости видно, что максимальное значение кратности получено при скорости воздушного потока около 20 м/сек; кратность воздушно-механиче-

ской пены уменьшается при отклонении скорости воздуха от значения 20 м/сек как в большую, так и в меньшую сторону.

Для 4%-ного водного раствора ПО-1 при размере ячеек 1,5×1,5 мм максимальная скорость воздушного потока равна 40 м/сек. С увеличением размера ячеек эти значения скоростей уменьшаются. При увеличении концентрации водного раствора ПО-1 минимальное значение скорости уменьшается, а максимальное — увеличивается. Проведенные замеры кратности пены, полученной на основе раствора с концентрацией пенообразователя 4–8%, показали, что ее величина выше соответствующих значений, приведенных на рис. 35. Поэтому при скоростях воздушного потока перед пеногенератором менее 10 м/сек и более 20 м/сек для получения пены следует использовать раствор ПО-1 с концентрацией более 4%. Кроме того, размер ячеек должен быть в первом случае более, а во втором менее 1,5×1,5 мм.

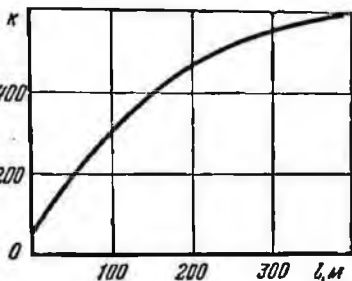


Рис. 36. Зависимость кратности пены k от дальности транспортировки l

На шахтах Донбасса при использовании пены для создания предохранительной среды при взрывных работах применяется пеногенератор с кольцевым зазором ПГЗ-1, соединенный последовательно с вентилятором местного проветривания. На рис. 36 представлена зависимость кратности пены от дальности транспортировки.

Как видно из рисунка, кратность пены уменьшается с уменьшением дальности транспортировки. При весьма близком расположении пеногенератора ПГЗ-1 от забоя может получаться пена низкой кратности. Это объясняется перераспределением воздуха, проходящего через пакет сеток и через кольцевой зазор (табл. 22).

Из данных табл. 22 видно, что через кольцевой зазор, площадь которого составляет всего 0,044 м², проходит основная масса

Таблица 22

Место замера воздуха	Скорость воздушного потока, м/сек	Количество проходящего воздуха, м ³ /мин
Перед поступлением в пеногенератор	10	118
После прохождения пакета сеток:		
непосредственно у сеток	3,8	39
в кольцевом зазоре	30,0	79

са воздуха. Скорость воздушного потока, проходящего через сетку, близка к минимальной, что приводит к получению пены низкой кратности. При наличии вентиляционного стога за пеногенератором аэродинамическое сопротивление пакета сеток приближается к сопротивлению в трубах. Такое уравнение приводит к более равномерному распределению воздуха по сечению пеногенератора, а это, в свою очередь, приводит к увеличению кратности пены.

Следовательно, необходимо увязывать величину кольцевого зазора генератора с дальностью транспортировки пены, а именно при уменьшении дальности транспортировки необходимо уменьшить кольцевой зазор.

§ 15. Предохранительная (инертная) среда

Критический радиус продуктов взрыва

Детонирующий заряд ВВ, как известно, способен воспламенить взрывчатую метано-воздушную смесь, находясь непосредственно в этой смеси или на некотором расстоянии от нее. При этом существует определенное расстояние между зарядом ВВ и метано-воздушной смесью, по достижении которого продукты детонации уже не в состоянии воспламенить ее. Указанное минимальное расстояние условно названное критическим радиусом, зависит от многих факторов, в частности от мощности ВВ и свойств окружающей его среды [40].

Зависимость критического радиуса продуктов взрыва, окруженных воздухом, от веса взрываемого заряда ВВ показана в табл. 23.

Таблица 23

Тип ВВ	Вес заряда, г	Диаметр заряда, мм	Критический радиус продуктов взрыва, окруженных воздухом, м
Угленит Э-6	450	45	0,05
	750	57	0,10
	1070	70	0,40
Аммонит ПЖВ-20	200	32	0,45
	300	36	0,60
	900	66	1,00
Аммонит № 6-ЖВ	200	32	0,70
	400	45	0,90
	600	55	1,10
Детонит 10А	200	32	0,80
	400	45	1,00
	600	64	1,25
Тротил порошкообразный	200	32	1,30
	250	36	1,35

Анализ полученных данных показывает, что для условий, когда воспламеняющей смесью является метан, а промежуточной средой — воздух, критический радиус возрастает с увеличением веса заряда и мощности ВВ.

Для аммонита ПЖВ-20 опасными с точки зрения воспламенения метано-воздушной смеси являются газообразные продукты детонации в зоне расширения до предельного радиуса, для детонита 10А, например, — даже в зоне смешивания со средой. Для ВВ V класса (угленит Э-6) этой опасности не наблюдается уже в зоне начального расширения продуктов взрыва.

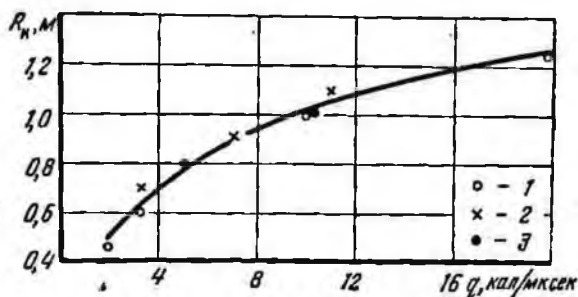


Рис. 37. Зависимость критического радиуса от количества теплоты, выделяющейся в единицу времени при взрыве заряда ВВ:

1 — аммонит ПЖВ-20; 2 — аммонит № 6-ЖВ; 3 — детонит 10А

Если расположить полученные критические радиусы продуктов взрыва аммонитов ПЖВ-20, № 6-ЖВ и детонита 10А в воздушном окружении в порядке увеличения теплоты, выделяющейся при взрыве в единицу времени, то они разместятся по одной кривой (рис. 37). Критические радиусы продуктов взрыва тротила и угленита Э-6 не подчиняются указанной закономерности. Для тротила это объясняется тем, что в воспламенении метано-воздушной смеси основную роль играют не газообразные продукты взрыва, а непрореагировавшие частицы ВВ, способствующие развитию вторичных реакций.

Зависимость критического радиуса продуктов взрыва ВВ, окруженных пеной кратностью 400—500, от веса взрываемого заряда ВВ показана в табл. 24.

Из приведенных данных следует, что взрыв свободно подвешенного заряда весом до 1 кг, в том числе при применении непродохранных ВВ, не приводит к воспламенению метано-воздушной смеси при окружении этого заряда воздушно-механической пеной слоем 0,6 м.

Воздушно-механическая пена по пламегасящим свойствам лучше воздуха в 2,5—3,5 раза при взрывании непродохранных

ВВ и в 6 раз при взрывании предохранительного аммонита ПЖВ-20. С увеличением веса взрываемого заряда ВВ относительное увеличение пламегасящих свойств пены возрастает.

Таблица 24

Тип ВВ	Вес заряда, г	Критический радиус продуктов взрыва, окруженных пеной, м
Аммонит ПЖВ-20	300	0,10
	600	0,15
	900	0,50
	3000	0,60
Аммонит № 6-ЖВ	200	0,20
	600	0,40
	800	0,60
	1000	0,60
	1200	1,0
	2000	1,25
Детонит 15А-10	200	0,45
	600	0,45
Детонит 10А	800	0,50

Локализация воспламенившейся метано-воздушной смеси

При определении эффективных параметров предохранительной среды из воздушно-механической пены были изучены условия, при которых пенная пробка в состоянии локализовать воспламенившуюся метано-воздушную смесь от взрыва различных по характеру и мощности источников. В табл. 25 представлены данные о локализирующей способности пены в зависимости от объема воспламенившейся метано-воздушной смеси, инициируемой взрывом в ней заряда аммонита № 6-ЖВ весом 100 г.

Таблица 25

Объем воспламенившейся метано-воздушной смеси, м ³	Размеры локализирующей пенной пробки	
	длина, м	объем, м ³
0,5	0,45	0,28
1,0	0,70	0,44
2,0	1,75	1,09

Указанную зависимость между объемами высокократной воздушно-механической пены V_n и локализуемой ею метано-воздушной смеси V_c можно выразить формулой

$$V_n = 0,22 (V_c^2 + 1).$$

Согласно этой формуле, для локализации 10 м^3 метано-воздушной смеси в опытном штреке необходимо создать пробку из 22 м^3 пены. Экспериментальная проверка подтвердила справедливость расчетных данных. Было установлено, что пробка из воздушно-механической пены кратностью 300—500 длиной 10 м (22 м^3) способна локализовать 10 м^3 воспламенившейся смеси метана с воздухом, инициируемой в опытном штреке взрывом аммонита № 6-ЖВ весом 100 г . Такая локализация достигалась даже при наличии воздушного зазора по верху штрека величиной $0,2—0,5 \text{ м}$. Локализирующая способность пены в этом случае объясняется ее расклинивающим действием с перекрытием всего поперечного сечения выработки, что имеет большое значение для практики создания надежной предохранительной среды в шахтах.

Следует отметить, что под локализирующим действием пены в данном случае понимается не только гашение пламени горячей метано-воздушной смеси, но и снижение ее температуры до опасных пределов. Как известно, в отдельных случаях газообразные продукты взрыва могут иметь относительно высокую температуру, но не обладать видимым свечением. Поэтому для подтверждения полученных результатов были проведены специальные наблюдения, в которых среды располагались следующим образом: взрываема метано-воздушная смесь — пена — контрольная метано-воздушная смесь. При отсутствии пены или при ее недостаточном количестве в этом случае газообразные продукты взрыва первой метано-воздушной смеси безотказно воспламеняют контрольную смесь, однако при наличии расчетного объема пены достигается надежная локализация.

Полученные данные позволили дифференцированно подойти к локализирующему действию взрывоопасной среды пеной. Было установлено, что величина пенной пробки, способной локализовать воспламенившуюся метано-воздушную смесь, зависит от времени существования пены и мощности источника воспламенения. Так, уже через 15 мин после создания пенной пробки локализирующая способность ее теряется. Это объясняется главным образом обезвоживанием («высыханием») пены в верхнем слое в результате ее синерезиса.

При использовании электродетонатора типа ЭД-8-Ж в качестве воспламеняющего источника воспламенившаяся метано-воздушная смесь объемом 10 м^3 локализуется пенной пробкой длиной 6 м . С увеличением мощности воспламеняющего источника до 200 г аммонита № 6-ЖВ пробка длиной 10 м при величине зазора между верхним слоем пены и штреком, равным $0,5 \text{ м}$, уже не локализует воспламенившуюся метано-воздушную смесь.

Кроме того, параметры локализации зависят от взрывных характеристик воспламеняющейся смеси. Так, пенная пробка длиной 12 м не способна локализовать взрыв угольной пыли или смеси ее с метаном.

Инертизация призабойного пространства

Воздушно-механическая пена обладает свойством непрерывности и сохранения постоянства состава газообразной фазы, что позволяет полностью вытеснить рудничную атмосферу, в том числе метано-воздушную смесь, из призабойного пространства выработки [41]. Это было подтверждено путем непосредственного осмотра тупиковой части выработки во время работы пеногенератора и после заполнения его пеной. Однако для достижения таких результатов должны соблюдаться определенные условия, сущность которых сводится к следующему.

В процессе заполнения призабойного пространства пеной кратностью меньше 300 происходит ее растекание по выработке и поэтому перекрытие всего поперечного сечения будет достигаться лишь при устройстве барьеров. Этот вывод подтверждается данными замера угла естественного откоса пены α , величина которого зависит в первую очередь от ее кратности.

Кратность пены k	600	500	400	300	200
Угол естественного откоса α , град.	60	50	40	30	15

Возможность создания непрерывной пенной пробки определяется также характером движения пенного потока при выходе из вентиляционной трубы. Пенная масса, попадая на забой, распространяется в обе стороны от места падения. Плотное прилегание пенной массы к забою и непрерывность ее зависят от минимальной необходимой величины пенной пробки l_{\min} , отставания вентиляционных труб от забоя выработки l_T и, наконец, от дальности броска пены l_n . Для выработок сечением до 14 м^2 зависимость между перечисленными величинами можно выразить формулой

$$l_T < \frac{l_{\min}}{2} + l_n.$$

Дальность броска пены зависит от скорости воздушного потока на выходе из вентиляционной трубы u .

u , м/сек	6,0—6,5	7,0—8,0	8,5—9,0	10
l_n , м	3—4	5—6	7	8, 8,5

Как показывают приведенные данные, даже в случае максимально допустимого правилами безопасности отставания вентиляционных труб от забоя (8 м) и минимальной дальности броска пены (3 м) возможно создание пенной пробки длиной не менее 10 м. Таким образом, расположение вентиляционных труб в тупиковых горных выработках обеспечивает создание непрерывной пенной пробки в призабойном пространстве по всему сечению выработки. Однако для исключения образования не заполненных пе-

ной полостей у забоя из-за преждевременного выключения пеногенератора, а также для предотвращения образования значительного воздушного зазора над поверхностью пены за счет ее возможного выдувания при высоких скоростях воздушного потока вентиляционные трубы необходимо располагать вверх выработки. При этом целесообразно, чтобы выходящая пена касалась поверхности забоя под углом к оси выработки.

Создание инертной среды в скважинах

При проведении горных выработок по угольным пластам на шахтах, опасных по газу, обычно бурят опережающие скважины большого диаметра (200—300 мм и более). Такие скважины часто бывают заполнены метаном взрывчатой или горючей концентрации. На рис. 38 показано изменение содержания метана по длине скважин, пробуренных в восточном штреке пласта l_6 на шахте «Суходольская» № 2.

Для обеспечения безопасности взрывных работ в этом штреке было проведено изучение возможности вытеснения метана из скважины воздушно-механической пеной с помощью погружного пеногенератора ППГ-1 (рис. 39). Принцип его работы основан на использовании сжатого воздуха, за счет энергии которого производится транспортировка заранее приготовленного 3—4%-ного раствора пенообразователя на распылительную форсунку

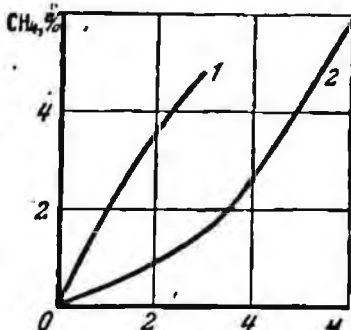


Рис. 38. Изменение концентрации метана по длине скважины: 1—по центру; 2—по низу

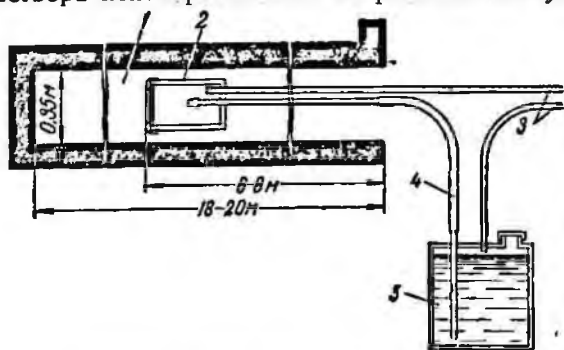


Рис. 39. Схема заполнения скважины пеной: 1—скважина; 2—пеногенератор ППГ-1; 3—магистраль для подачи сжатого воздуха; 4—магистраль для подачи водного раствора ПО-1; 5—бачок с раствором пенообразователя

и его продувание через сетку. Производительность пеногенератора при давлении сжатого воздуха 3—4 *ати* была около 1 м³/мин пены кратностью 100—200. Дальность броска пены составляла до 1,5 м, а величина погружения пеногенератора в скважину достигала 6—8 м [42].

Результаты испытаний подтвердили возможность эффективно использовать пеногенератор ППГ-1 для заполнения окважин пеной.

§ 16. Технология создания предохранительной среды в шахтах

Получение и подача водного раствора пенообразователя

Способ приготовления раствора пенообразователя непосредственно в водяном ставе перед пеногенератором является наиболее простым, но связан с использованием пеносмесителя. Лабораторно-полигонная и шахтная проверка указали на возможность использования для этой цели пеносмесителя ПС-2,5. Согласно техническому паспорту устойчивый режим ПС-2,5 при приготовлении 4—5%-ного раствора ПО-1 обеспечивается при давлении воды 8 *ати*. Однако проведенные испытания показали, что этот пеносмеситель способен образовывать указанный раствор при давлении воды 2,5—3,5 *ати*. В шахтах, где возникает необходимость использования подземных вод с повышенной жесткостью или кислотностью и расход пенообразователя в растворе возрастает, устойчивый режим работы пеносмесителя ПС-2,5 для получения высокократной пены обеспечивается при давлении воды 2—2,5 *ати*. Опыт работы на загрязненной шахтной воде показал, что для этих условий необходимо использовать фильтр.

Количество раствора Q_p , которое необходимо подать на поверхность сеток пеногенератора, определяется количеством воздуха, участвующего в пенообразовании, и требуемой кратностью пены. Нами установлено, что для получения пены с помощью пеногенераторных установок связь между указанными величинами хорошо описывается формулой

$$Q_p = v \frac{1}{k} \cdot 10^3, \text{ л/сек,}$$

где v — скорость воздуха, проходящего через сетки, м/сек;
 k — кратность пены.

Эта зависимость действительна для условий, когда $v \leq 6,5$ м/сек.

Опыт работы пеносмесителя показывает, что для получения высокократной пены в тупиковых подготовительных выработках, при проветривании которых скорость воздушного потока в трубопроводе может иметь низкие значения, т. е. менее 10 м/сек, необходимо использовать такую конструкцию пеносмесителя, которая позволила бы производить регулировку подачи раствора

в широком диапазоне. Исходя из этого, в конструкцию пеносмесителя ПС-2,5 были внесены некоторые изменения: предусмотрена возможность замены сопел с различным диаметром выходных отверстий и установлен пробковый кран на всасе. Однако для стабильного получения высокократной пены в этих условиях целесообразно производить его настройку на приготовление пенообразующего раствора с концентрацией ПО-1 выше оптимальной, т. е. более 4—5%.

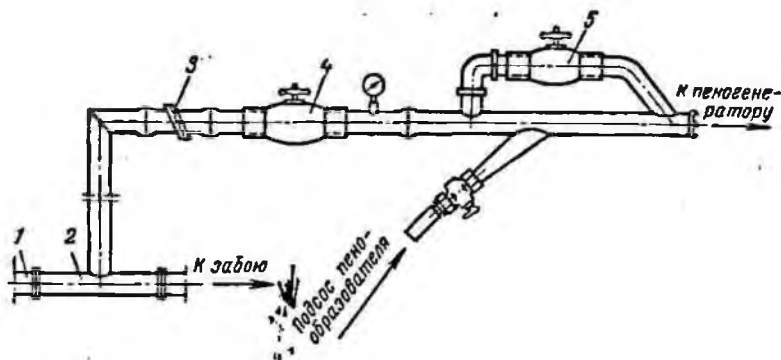


Рис. 40. Схема приготовления пенообразующего раствора с помощью пеносмесителя:

1 — водопровод; 2 — колено; 3 — фильтр; 4 — вентиль с манометром; 5 — пеносмеситель ПС-2,5м

Увеличение расхода пенообразователя против оптимальной нормы (во многих случаях до 5—8%, а иногда и более) в шахтных условиях определяется следующими факторами:

а) низкой скоростью воздушного потока, проходящего через сетки пеногенератора, обусловленной недостаточной производительностью вентилятора местного проветривания, высоким аэродинамическим сопротивлением столба пены в результате большой дальности транспортировки или ее невысокой кратности и чрезмерно большим кольцевым зазором;

б) повышенной жесткостью воды;

в) неустойчивым давлением воды в водопроводном ставе.

Схема приготовления пенообразующего раствора (рис. 40) должна обязательно включать пеносмеситель и регулирующее звено, состоящее из вентиля и манометра. При работе на загрязненной воде необходимо устанавливать фильтр.

Увеличение расхода пенообразователя в зависимости от повышения жесткости шахтной воды показано в табл. 26.

Из данных табл. 26 видно, что для получения пены кратностью, близкой к 500, при жесткости воды 7—10 мг-экв/л требуется расход пенообразователя с концентрацией ПО-1 около 4%, а при жесткости 50 мг-экв/л — 8%. Следовательно, уменьше-

Таблица 26

Показатели	Жесткость воды, мг-экв/л							
	7—10			50			200	
Концентрация пенообразователя в растворе, %	2	4	8	2	4	8	4	
Кратность пены	170	500	1000	95	300	520	250	

ние кратности пены при увеличении жесткости воды объясняется разрушением части ее пузырьков, а также снижением фактической концентрации пенообразователя в растворе за счет перехода части его в нерастворимый в воде осадок в результате обменных реакций между натриевыми солями сульфонафтенных кислот, являющихся основной составной частью ПО-1, и ионами кальция и магния. Аналогичные явления должны иметь место при наличии в воде полуторных окислов.

Оптимальный режим работы пеногенератора ПГЗ-1

На шахтах Донбасса для получения высокократной воздушно-механической пены наиболее широко применяются пеногенераторы с кольцевым зазором ПГЗ-1.

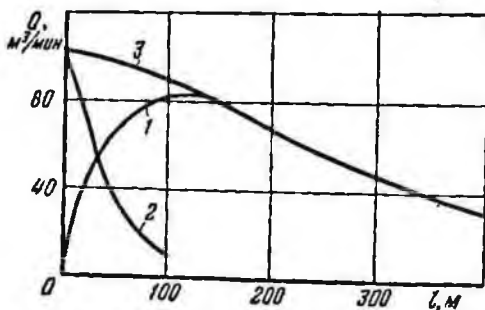


Рис. 41. Зависимость производительности пеногенератора от дальности транспортировки пены

Производительность пеногенератора ПГЗ-1 зависит от величины кольцевого зазора, а каждому значению дальности транспортировки соответствует своя оптимальная величина зазора, которая, в свою очередь, определяется производительностью вентилятора и герметичностью трубопровода. Это подтверждается графической зависимостью (рис. 41), полученной для условий, когда к пакету сеток поступает по прорезиненному ставу труб диаметром 500 мм 110—120 м³/мин воздуха и используется 4%-

ный раствор пенообразователя ПО-1. Кривая 1 изображает зависимость производительности Q пеногенератора ПГЗ-1 от дальности транспортировки пены l при кольцевом зазоре, равном 20 мм. Эту зависимость можно выразить математически

$$Q = 181 e^{-0,0044l} - 173 e^{-0,0162l}.$$

Кривая 2 характеризует ту же зависимость для генератора без кольцевого зазора. Сравнение кривых 1 и 2 показывает, что устройство кольцевого зазора увеличивает дальность транспортировки пены по вентиляционному трубопроводу. Относительно высокая производительность в последнем случае объясняется изменением кратности пены.

Максимально возможная производительность пеногенератора (кривая 3, рис. 41) при дальности транспортировки до 150 м практически мало зависит от нее и составляет 100—80 м³/мин. При дальности транспортировки более 150 м максимум имеет то же значение, что и производительность пеногенератора с кольцевым зазором, равным 20 мм. Поэтому на этом участке кривая 3 совмещается с кривой 1.

В целом пеногенератор ПГЗ-1 можно характеризовать следующими данными:

а) оптимальный режим работы его обеспечивается при скорости воздушного потока, проходящего через пакет сеток, от 10 до 30 м/сек и расположении от забоя на расстоянии 80—250 м;

б) устойчивый режим работы в случае использования пено-смесителя обеспечивается при напоре воды в водопроводном ставе не менее 2 атм и расходе ее не менее 150 л/мин;

в) для получения высокократной пены может использоваться шахтная вода с рН=5÷9 при жесткости не более 50 мг-экв/л;

г) при использовании нейтральной воды оптимальные условия генерирования обеспечиваются подачей на сетки 4%-ного раствора пенообразователя ПО-1;

д) величина кольцевого зазора принимается в зависимости от рекомендуемой дальности транспортировки пены.

Дальность транспортировки пены, м . . .	50—80	80—150	150—200	200—250	250—350
Величина кольцевого зазора, мм	10	15	25	30	35

Увеличение кольцевого зазора при фиксированной величине 10 мм с целью изменения режима генерирования и увеличения дальности транспортировки пены осуществляется поворотом сеток на соответствующий угол. Это исключает необходимость в частых переносках пеногенераторной установки в процессе подвигания забоя.

Использование высокократной воздушно-механической пены для создания предохранительной среды целесообразно в тех ус-

ловнях, когда количество подаваемого воздуха в забой будет не меньше $100 \text{ м}^3/\text{мин}$, а диаметр труб вентиляционного става будет составлять 500 мм и более.

Искусственное разрушение пены

Кратность пены через $15\text{--}20 \text{ мин}$ после получения ее на технической воде значительно увеличивается и может достигать 1500 (рис. 42). Искусственно разрушить пену можно компактными водными струями, а также пропускаемая ее через аэродинамические сопротивления или распыляя на ее поверхности водный раствор хлористого кальция. Значительно труднее указанными способами разрушить только что полученную пену высокой или средней кратности.

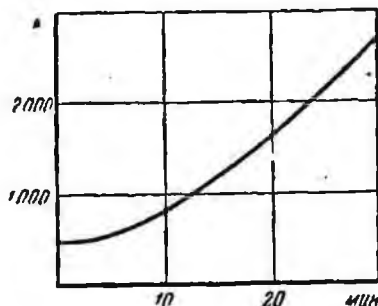


Рис. 42. Изменение кратности воздушно-механической пены

Эффективность действия воды или раствора хлористого кальция в качестве разрушающих агентов зависит от степени их диспергирования. Наиболее приемлемым приспособлением для разбрызгивания этих веществ оказалась трубка-форсунка (рис. 43), применяемая в настоящее время для напеснения на поверхность горных выработок пасты. Такая форсунка при давлении жидкости $3\text{--}3,5 \text{ ат}$ создает компактную струю длиной $6\text{--}7 \text{ м}$ при пропускной способности $40 \text{ л}/\text{мин}$. Распыление трубкой-форсункой $5\text{--}10\%$ -ного водного раствора хлористого кальция позволяет за $3\text{--}6 \text{ мин}$ разрушить $30\text{--}40 \text{ м}^3$

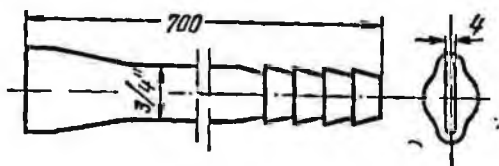


Рис. 43. Трубка-форсунка

высокократной пены. Причем после этого на почве горной выработки остается слой низкократной пены толщиной $15\text{--}30 \text{ см}$. При использовании воды результаты менее эффективны: после разрушения пены объемом 30 м^3 в течение 12 мин остаточный слой ее составлял $40\text{--}50 \text{ см}$.

Искусственное гашение пены может осуществляться механическим способом при помощи специального устройства, представляющего магазин аэродинамических сопротивлений с эжектором.

За 10—12 мин этим устройством при давлении сжатого воздуха 4 атм было разрушено 60—70 м³ пены, остаточный слой ее составлял 25—30 см. Следует отметить, что в этом случае для обеспечения нормальных комфортных условий в призабойном пространстве необходимо остаточные продукты из аэродинамических сопротивлений отводить по трубопроводу на расстояние более 20 м от забоя.

Анализ описанных способов искусственного гашения пены показывает принципиальную возможность их практического использования. Однако более эффективные результаты достигаются при использовании специальных пеногасителей. Так, разбрызгивание 100 г пеногасителя КНШ позволяет разрушать 50 м³ пены в течение 1,5—2 мин.

Применение пены в восстающих выработках

Опробование подачи высокократной пены в восстающие выработки показало следующее:

1) пену можно транспортировать по вентиляционному трубопроводу не только по горизонтали, но и вертикально вверх. Так, при производительности вентилятора 225 м³/мин и диаметре трубопровода 500 мм высота подачи пены составляет 8 м;

2) пена, расположенная на наклонной поверхности под углом 20°, через некоторое время после ее получения сползает вниз, что объясняется образованием между нею и почвой выработки водяной пленки;

3) при угле наклона выработки 20—30° возможен постепенный отжим пены от забоя свободным воздухом.

Описанные отрицательные явления не проявляются при угле наклона до 10—15°. Следовательно, эффективное применение пены для создания предохранительной среды целесообразно в восстающих выработках, проводимых под углом 10—15°. Высота таких выработок не должна превышать 3 м.

Обобщение результатов применения пены в шахтах, опасных по газу или пыли

Для создания предохранительной (инертной) среды перед производством взрывных работ в призабойном пространстве подготовительных выработок было принято требование о применении пенной пробки длиной не менее 10 м. Заполнение такого участка выработки происходит пеногенератором за определенное время, которое обычно составляет 1,5—2,5 мин.

Скорость воздушного потока в вентиляционном ставе при увеличении аэродинамического сопротивления, в том числе и при подаче пены, как известно, уменьшается. Результаты проведенных замеров в вентиляционных трубах диаметром 600 мм перед пеногенераторной установкой показали, что при кратности пены 600—

700, транспортируемой на расстояние 230—240 м, скорость воздушного потока уменьшается на 27—38%. При этом с увеличением дальности транспортировки степень уменьшения скорости воздуха снижается. Через 2—3 мин после подачи ее в забой выработки производительность вентилятора восстанавливается.

Во время работы пеногенератора одновременно с пеной поступает «свободный воздух». Проведенные наблюдения за движением этого воздуха от забоя показали, что он выходит у боков и в основном у кровли выработки. Поэтому несмотря на уменьшение его общего количества при заполнении призабойного пространства пеной в выработке создаются благоприятные условия для ликвидации слоевых скоплений метана. Это обуславливается увеличением скорости воздушного потока по верху выработки в 2—3 раза и более.

В процессе взрывной отбойки угля и породы пена разрушается. Однако степень ее разрушения бывает различной и определяется количеством взрываемого ВВ и протяженностью пенной пробки. Так, например, на шахте № 3 шахтоуправления «Холодная Балка» в Донбассе при взрывании 12 кг угленита Э-6 по углю пробка длиной 13 м полностью разрушается. Угольная пыль оказывается полностью смоченной оставшимся слоем 0,1—0,3 м низкократной пены и выделившимся пенообразующим раствором на протяжении 20—25 м. Благодаря наличию в пенообразователе костного клея смоченная пыль постепенно затвердевает, что значительно уменьшает возможность ее повторного взвешивания.

В атмосфере призабойного пространства сразу же после взрыва отсутствует дым. Это объясняется фильтрацией через пену продуктов взрыва. Концентрация взвешенных частиц пыли в рудничной атмосфере определялась с помощью прибора АЭРА на расстоянии 20 м от забоя. Полученные результаты приведены в табл. 27.

Таблица 27

Показатели	Интервалы времени после взрывания, мин			
	5	15	30	45
Запыленность воздуха, мг/м ³ :				
без применения пены	320	162	25	9
при применении пены	140	75	10	3

Из данных табл. 27 видно, что содержание пыли в воздухе при взрывах с применением пены в качестве предохранительной среды снижается более чем в два раза на расстоянии 20 м от забоя и более.

Оценивая результаты применения высокократной воздушно-механической пены за период с 1967 по 1970 г. более чем в 100 вы-

работках на шахтах Донецкого и Карагандинского бассейнов, можно сделать следующие выводы.

1. Этот способ создания предохранительной среды при правильном использовании позволяет предотвращать воспламенение метана и угольной пыли при взрывных работах в наиболее опасных условиях. Он может быть рекомендован к применению в отдельных тупиковых выработках проводимых по пластам с высокой газообильностью, и для создания инертной среды в выбуренных по углю пластах, в которых перед взрыванием зарядов по породе в смешанных забоях может образоваться взрывчатая метано-воздушная смесь.

2. Высокая безопасность взрывных работ обеспечивается в том случае, когда воздушно-механическая пена полностью перекрывает у забоя все поперечное сечение выработки. Поэтому необходимо осуществлять контроль за наличием пены с помощью специальных датчиков, исключающих возможность взрыва зарядов при ее отсутствии вверху выработки.

3. Пеногенераторы конструкции МакНИИ типа ПГЗ-1 и пеносмесители ПС-2,5м могут изготавливаться на рудоремонтных заводах или в ЦЭММ угольных комбинатов.

4. Для получения воздушно-механической пены высокой кратности в шахтах целесообразно применять пенообразователь ПО-1 или смесь его с ПО-1Д в соотношении примерно 1:4; при отсутствии ПО-1 может использоваться также паста ДС-РАС (ПО-1Д) или пенообразователь ПО-1А («Прогресс»).

Глава IV

ИНГИБИТОРЫ

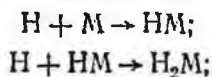
§ 17. Характеристика ингибиторов

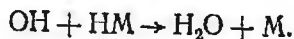
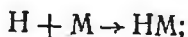
Сущность идеи нейтрализации взрывчатых свойств метана химическим путем состоит в прекращении реакции его окисления, которая, как указывалось ранее, сопровождается образованием целого ряда промежуточных продуктов: атомарного кислорода и водорода, окиси углерода, формальдегида, гидроксильных и углеводородных радикалов [20, 22, 27]. Важнейшими характеристиками, определяющими условия взрыва газо-воздушной смеси в практических условиях, являются температура ее воспламенения и период индукции или время задержки вспышки.

Значительное влияние на параметры вспышки способны оказывать каталитические активные добавки, вызывающие торможение или обрыв реакции и называемые отрицательными катализаторами или ингибиторами. Действие отрицательных катализаторов сводится к разрушению активных центров реакции и, следовательно, к обрыву цепей [33, 27].

На практике различаются два типа ингибиторов: твердые вещества и жидкие и газообразные соединения.

В том случае, когда в качестве химических ингибиторов выступают твердые вещества, рекомбинация активных центров осуществляется на границе раздела фаз, т. е. на поверхности твердых тел. При этом существенное значение имеет способность твердой поверхности адсорбировать газообразные активные центры. В то время, как простой удар активного центра о твердую поверхность не обязательно приводит к его гибели, адсорбция приводит к изъятию центра из зоны реакции, т. е. к безусловному обрыву соответствующей цепочки. В дальнейшем адсорбированные активные центры могут реагировать с другими газообразными частицами, либо с твердой поверхностью, либо оставаться в неизменном состоянии. Так, например, схему реакции твердого ингибитора (М) с водородом (Н) можно изобразить следующим образом:





Специфическими ингибиторами реакции окисления углеводородов и, в частности, метана являются соли щелочных металлов.

Большое влияние на эффективность ингибиторов оказывает дисперсность, так как окорость обрыва цепи пропорциональна количеству диспергированного вещества и обратно пропорциональна квадрату диаметра твердых частиц. На практике для предотвращения и локализации вспышек метана были апробированы порошки пламегасящих солей с размером частиц порядка 16 мк.

В горной промышленности соли щелочных металлов широко применяются как пламегасители для создания предохранительных ВВ. Что же касается флегматизации призабойного пространства распылением в нем твердых ингибиторов при взрывных работах, то этот способ практически не применяется. Имеющиеся отечественные и зарубежные данные об апробировании этого способа представляют практический интерес [43, 44].

Заслуживает внимания работа, проведенная в США по созданию установки для предотвращения воспламенения метана в забое при механическом способе выемки [43]. Установка монтируется на комбайне и включает в себя детектор воспламенения, который срабатывает при появлении ультрафиолетового излучения, контейнер с пламегасителем и диспергирующее устройство. Проверка этого устройства в экспериментальной шахте показала, что взрыв газа можно подавить до развития интенсивного пламени и давления. Максимальное время, необходимое для этой операции, составляет 50 мсек. За этот период времени происходит обнаружение воспламенения и срабатывания диспергирующей системы, распыление порошков пламегасящих солей и, наконец, ингибирование развития пламени, т. е. гашение его. Из всех испытываемых солей наилучшие результаты дал бикарбонат калия с размером частиц 16 мк.

Ценность применения датчиков, информирующих об опасности воспламенения метана и включающих распыляющее устройство, состоит в том, что вся система срабатывает лишь в случае возникновения опасной ситуации. Это значительно снижает экономические затраты при использовании данного способа флегматизации призабойного пространства по сравнению с другими способами создания предохранительной среды. Однако использование автоматического прибора для гашения взрывов метана, возникающих при взрывных работах, невозможно. Это объясняется способностью диспергирующей системы гасить только слабые взрывы в их начальной стадии, когда отсутствуют измеримые ударные волны и скорости горения метана будут не более 50—100 м/сек. При взрывных работах воспламенение метано-воздушной смеси зачастую происходит от взрыва заряда, скорость распространения

пламени в этом случае может достигать 500—700 м/сек, а давление — 25 атм.

Ряд исследователей [44] проводил опыты по предотвращению воспламенения метана взрывным распылением порошкообразных ингибиторов. Распыление их осуществлялось из патронов специальной конструкции и из специально пробуренных штуров взрывом заряда ВВ. В качестве ингибиторов в этом случае использовались йодистый калий и бромистый натрий. Следует отметить, что эти два продукта являются дефицитными и дорогостоящими.

Для создания предохранительной среды при взрывных работах нами на основании известных характеристик были отобраны следующие соединения: хлористый натрий, хлористый калий и бикарбонат калия (NaCl , KCl , KHCO_3). Кроме того, для этой цели были опробованы фреоны [45, 46, 47].

Фтор, бром и хлор — производные простейших алифатических углеводородов — известны под общим названием фреонов. В настоящее время существует большой класс фреонов, в состав которого входят неорганические соединения насыщенных и ненасыщенных углеводородов, алифатических аминов и органических соединений. Существует также и система их обозначения, т. е. сокращенные названия, соответствующие химическому составу.

§ 18. Предохранительная среда из порошкообразных ингибиторов

Для создания предохранительной среды при взрывных работах был выбран, как более надежный, взрывной способ распыления порошкообразных ингибиторов, помещенных в полиэтиленовый сосуд. Дисперсность порошков солей хлористого натрия, хлористого калия и бикарбоната калия в первом варианте составляла менее 250 мк. Для распыления порошков из полиэтиленовых сосудов принят заряд угленита Э-6 весом 0,1 кг, инициируемый предохранительным электродетонатором мгновенного действия типа ЭД-8-ПМ.

Проверка этого способа создания предохранительной среды в опытном штреке дала положительные результаты. Было установлено, что предварительное распыление всех принятых ингибиторов данной дисперсности надежно предотвращает воспламенение метано-воздушной смеси от взрыва свободно подвешенного воспламеняющего заряда аммонита № 6-ЖВ весом 0,2 кг. Эффективное время действия такой среды превышало 600 мсек. Бикарбонат калия и хлористый калий превосходят по ингибирующей способности хлористый натрий, поэтому последний не был рекомендован к практическому применению.

Для окончательного выбора способа создания предохранительной среды были опробованы как чистые составы хлористого калия и бикарбоната калия, так и смеси их. В состав этих солей для предотвращения слеживания вводилась добавка стеарата кальция

в количестве 0,5—1,0%. Влажность порошка составляла около 0,038%, дисперсность — менее 80 мк.

Установлено, что для бикарбоната калия минимальный вес порошка, при котором образуется предохранительная среда в радиусе 1 м, составляет 0,4—0,5 кг, а при навеске 0,7—0,8 кг зона действия возрастает до 1,4—1,5 м. Дальнейшее увеличение веса

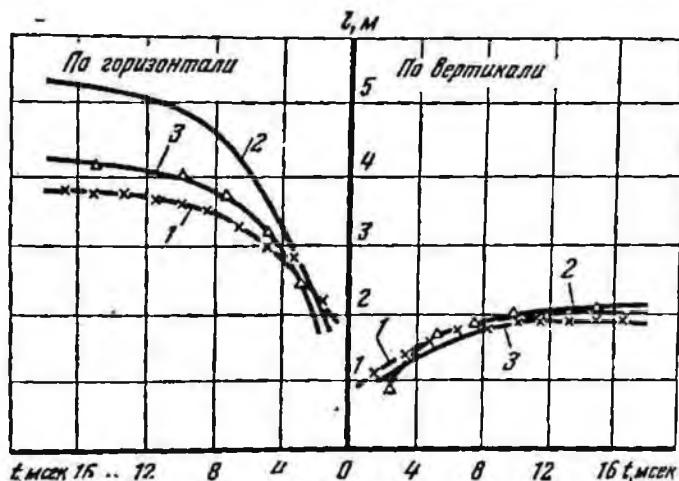


Рис. 44. Изменение размеров солевого облака при распылении навески:

1 — 0,35 кг; 2 — 0,7 кг; 3 — 1,5 кг

распыляемого порошка не вызывает изменения эффективного радиуса действия. Подобные данные были получены для хлористого калия. Однако применение смеси бикарбоната калия и хлористого калия в соотношении 1:1 при том же весе распыляемого порошка приводит к увеличению радиуса действия завесы до 1,8 м. Поэтому для практического применения был выбран этот состав ингибиторов.

В процессе определения эффективности действия распыленных ингибиторов было отмечено, что изменение плотности порошков в пределах до $1,3 \text{ г/см}^3$ на предохранительное действие завесы не сказывается. Увеличение влажности применяемых солей до 1,5% также не оказывает влияния на радиус ее действия. Однако при влажности 3,5% образующееся солевое облако не предотвращает воспламенения метана.

Динамика процесса распыления навесок порошка 0,35; 0,7 и 1,5 кг, определенная с помощью скоростной киносъемки, показана на рис. 44. Размеры облаков через 20 мсек после начала распыления солей в вертикальном направлении практически одинаковы и находятся в пределах 2,0—2,2 м. В горизонтальной плоскости максимальная величина облака для навесок 0,35 и 1,5 кг со-

ставляет соответственно 3,75 и 4,3 м, в то время как для навески 0,7—5,3 м. Начальная скорость движения порошка в горизонтальном направлении составляет 500—600 м/сек, а в вертикальном — только 200—300 м/сек. Характерно, что солевое облако при весе распыляемого порошка 0,35 кг через 12—16 мсек практически прекращает расти, в то время как при большей навеске оно продолжает еще увеличиваться. Максимальные размеры облака, как показывают приведенные данные, при использовании в качестве распыляющего заряда угленита Э-6 весом 0,2 кг дают навески ингибиторов 0,7—0,8 кг.

При снаряжении полиэтиленового сосуда с порошками солей распыляющим зарядом возможны случаи его децентровки. Если патрон ВВ смещен в сосуде таким образом, что со стороны воспламеняющего заряда он защищается слоем ингибитора, то эффективный радиус действия не изменяется. Предохранительное действие солевой завесы сохраняется при смещении заряда от центра на 0,5 см. Отклонение заряда от центра на 1,4 см приводит к незначительному снижению размеров облака.

Для определения изменения ингибирующих свойств порошков с течением времени сосуды с ними закладывались на хранение в условиях повышенной влажности, которые были подобны шахтным. Часть полиэтиленовых сосудов с ингибиторами герметично закрывалась, а остальные оставались раскрытыми. В тех сосудах, которые хранились раскрытыми, влажность порошка через 1,5 месяца хранения повысилась с 0,038 до 0,1%, сыпучесть его в обоих случаях практически сохранялась прежней. Проверка защитного действия, проведенная в опытном штреке, показала, что после такого длительного хранения порошков ингибиторов эффективный радиус действия предохранительной среды не изменился.

Нашими наблюдениями установлено, что работоспособность и бризантность угленита Э-6 может снижаться почти на 30%. Использование этого ВВ с истекшим сроком хранения приводит к снижению эффективного радиуса солевой завесы до 1,5 м вместо 1,8 м. В то же время отклонение от состава порошка даже на 20% существенного влияния на этот радиус не оказывает.

Сравнение рассматриваемого способа создания предохранительной солевой завесы за счет распыления одинакового количества смеси бикарбоната калия с хлористым калием из полиэтиленовых сосудов (рис. 45, а) и из специальной стальной мортiry (рис. 45, б) показало следующее. Мортирный способ распыления ингибиторов при взрыве такого же заряда ВВ позволяет получать зону действия завесы не более 3—3,5 м. Получаемые размеры предохранительной завесы в обоих случаях будут практически одинаковыми. Однако способ создания предохранительной среды за счет распыления ингибиторов из подвешенного полиэтиленового сосуда по сравнению с мортирным способом проще и менее трудоемок и поэтому ему следует отдать предпочтение в шахтных условиях.

Проверка эффективности действия солевой завесы после воз-

действия на нее предварительно взорванных зарядов показала, что предохранительное действие ее в этих условиях не снижается и она исключает воспламенение метана от последующего взрыва свободно подвешенного заряда аммонита № 6-ЖВ весом 0,2 кг.

Определение норм и условий применения предохранительной

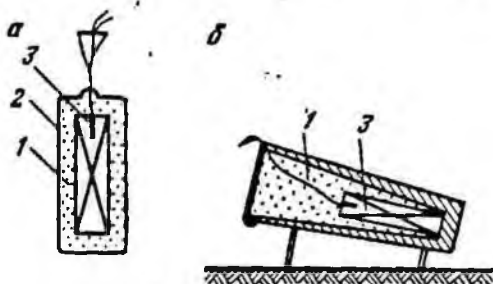


Рис. 45. Способы распыления ингибитора:
 а — из полиэтиленовых сосудов; б — из mortarы; 1 — ингибитор-порошок; 2 — полиэтиленовый сосуд; 3 — распыляющий заряд

среды с использованием ингибиторов позволяло провести промышленную проверку разработанного способа создания предохранительной среды в шахтных условиях. Для этих целей применялась смесь бикарбоната калия с хлористым калием в соотношении

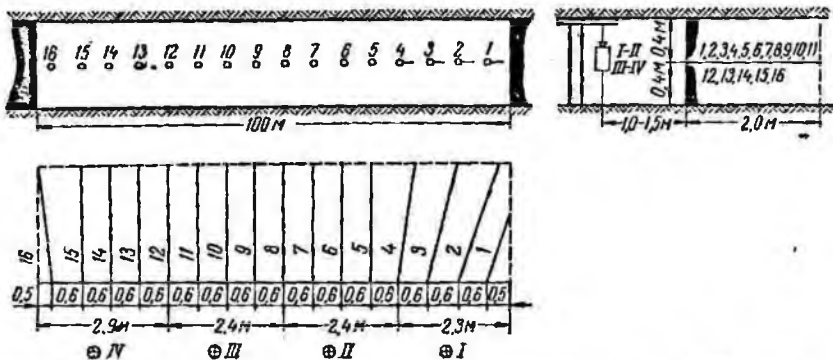


Рис. 46. Схема расположения сосудов с ингибитором (I, II, III, IV) при ведении взрывных работ в штоле

50 : 50. Величина навесок этих солей, помещенных в герметичные полиэтиленовые сосуды, составляла по 750 г. каждая.

Снаряжение сосудов распыляющими зарядами производилось после заряжания забоя, затем они подвешивались к распилам призабойной крепи (рис. 46). Промышленные испытания ингибиторов, проведенные в верхней нише и в вентиляционном штреке южной

лавы пласта m_3 горизонта 620 м на шахте им. Ильича в Донбассе, дали положительные результаты.

Обобщая изложенные данные, можно отметить следующее. Возможность практического применения способа создания предохранительной среды при взрывных работах за счет взрывного распыления ингибиторов в угольных шахтах не вызывает сомнения. Использование его для предотвращения воспламенения метана возможно как в очистных забоях, так и в подготовительных выработках. В некоторых случаях этот способ может быть экономичным по сравнению с применяемыми водораспылительными завесами. Однако следует иметь в виду, что водяные завесы и воздушно-механическая пена одновременно с предупреждением воспламенения метана и угольной пыли являются также эффективным средством улучшения санитарно-гигиенических условий труда горняков, так как подавляют взвешенную пыль и уменьшают количество ядовитых газов в продуктах взрыва. Поэтому использование порошкообразных ингибиторов, не обладающих последними положительными свойствами, целесообразно только в тех случаях, где применение водораспылительных завес или воздушно-механической пены невозможно или крайне затруднено.

Для создания предохранительной среды в этих случаях следует применять смесь бикарбоната калия с хлористым калием в соотношении 50 : 50 дисперсностью менее 80 мк (при удельном расходе не менее 0,05 кг на 1 м³ завесы). В шахтных условиях для этой цели целесообразно использовать навески указанных пламегасящих солей по 0,8 кг каждая. Применение одной такой навески, помещенной в герметичный полиэтиленовый сосуд, при распылении ингибиторов взрывом заряда угленита Э-6 весом 0,2 кг позволяет создавать предохранительную среду в горизонтальном направлении до 3 м и в вертикальном — до 2,5 м.

Сосуды с пламегасящими солями следует располагать на расстоянии не более 1 м от забоя и от верха выработки. Иницирование зарядов угленита Э-6 в этих сосудах при создании предохранительной среды необходимо осуществлять предохранительными электродетонаторами мгновенного действия не менее чем за 15 мсек до взрыва шпуровых зарядов.

§ 19. Взрывоподавляющие концентрации фреонов

На рис. 47 приведены экспериментально полученные минимальные концентрации шестифтористой серы (SF_6), при которых исключается взрыв метано-воздушной смеси от вспышки электровоспламенительных головок электродетонатора. Как видно из рисунка, при одновременной вспышке 4—10 электровоспламенителей взрывоподавляющая концентрация шестифтористой серы по объему составляет менее 7%. Подобные результаты дает фреон 13В1. Предотвращение воспламенения метана при использовании фреона 114В2 достигается при значительно меньших концентраци-

их. Сравнительно высокая эффективность в отношении флегматизации метано-воздушной смеси тетрофтордибромметана (Ф-114В2) и смеси его с йодом подтверждается экспериментальными данными (табл. 32), полученными нами совместно с работниками ВНИИГД (г. Донецк).

Из данных таблицы видно, что введение во взрывчатую метано-воздушную смесь фреона 114В2

в количестве 2,7—3% исключает ее воспламенение от взрыва свободно подвешенного заряда аммонита № 6-ЖВ весом 200 г или при использовании в качестве источника воспламенения нагретой до 1400° К нити, находящейся в испытываемой среде в течение 2 мин. Добавление к фреону 114В2 всего 0,2% свободного йода позволяет повысить его взрывоподавляющую способность в полтора раза. Что же касается источника воспламенения метано-фреоно-воздушной смеси, то он в данных условиях мало влияет на изменение взрывоподавляющей концентрации фреона (табл. 28).

На основании изложенного можно отметить следующее. Фреоны 13В1, 114В2 и шестифтористая сера способны предотвращать воспламенение метано-воздушной смеси от источника воспламенения, в том числе от взрыва свободно подвешенного заряда непре-

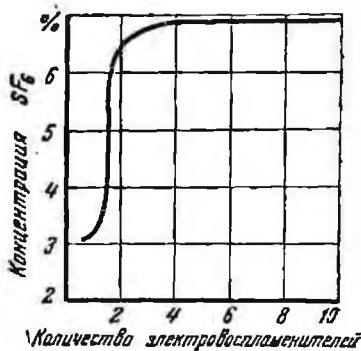


Рис. 47. Изменение взрывопредотвращающей концентрации шестифтористой серы при вспышке разного количества электровоспламенителей

Таблица 28

Флегматизатор (фреон)	Источник воспламенения	Концентрация флегматизатора, % по объему	Результаты взрывания
Ф-114В2	Тепловой	2,9	Метано-воздушная смесь не взрывалась
	Тепловой	3,0	То же
	Взрыв аммонита № 6-ЖВ весом 200 г	2,7	Метано-воздушная смесь воспламенялась частично
	То же	2,9	То же
Смесь Ф-114В2 с йодом	Тепловой	1,9	Метано-воздушная смесь не взрывалась
	Тепловой	1,8	
	Взрыв аммонита № 6-ЖВ весом 200 г	2,0	

дохранительного ВВ. Взрывоподавляющая концентрация их близка к огнегасительной концентрации. Однако, несмотря на это, применение фреонов для создания предохранительной среды при взрывных работах в шахтах, опасных по газу или пыли, следует считать в настоящее время нерациональным. Это обуславливается отсутствием явных преимуществ у фреонов по сравнению с водораспылительными завесами и воздушно-механической пеной, а также сложностью технологии введения их в рудничную атмосферу горных выработок перед производством взрывных работ. Кроме того, в процессе термического разложения фреонов не исключается возможность образования весьма токсичных соединений.

Глава V

ГИДРОЗАБОЙКА

Водораспылительные завесы, воздушно-механическая пена и ингибиторы предназначены для создания предохранительной среды в призабойном пространстве горных выработок. Достаточно эффективная предохранительная среда может создаваться в шпуре при окружении заряда ВВ водой. В этом случае безопасность взрывных работ в шахтах, опасных по газу или пыли, может быть доведена до уровня беспламенного взрывания [1, 17]. Кроме того, как показали наши исследования, диспергирование воды, содержащейся в шпурах, значительно усиливает действие водораспылительных завес.

Водяная забойка или жидкие смеси воды с другими инертными материалами объединены термином гидрозабойка. Основными видами ее являются [48, 49, 50]:

- 1) комбинированная;
- 2) полиэтиленовые ампулы с водой;
- 3) пульпа или паста;
- 4) вода под избыточным давлением.

Первые два вида гидрозабойки находят широкое распространение и становятся основными в угольных шахтах, опасных по газу или пыли. Два других способа — пульпа и взрывание зарядов под избыточным давлением воды из-за сложности технологии их применения имеют весьма ограниченное использование и можно предположить, что они в ближайшие годы не получат широкого внедрения.

§ 20. Комбинированная забойка

Простейшим способом применения гидрозабойки является заливка воды в наклонные шпуры или скважины. Этот способ имеет ряд важных преимуществ и в то же время серьезные недостатки.

Значительное влияние водяная забойка оказывает на предотвращение воспламенения метана и угольной пыли. С одной стороны, водяная оболочка вокруг заряда способствует ускорению процесса химического превращения и уменьшает разброс частиц ВВ при детонации, в результате чего исключаются вторичные ре-

акции взрывного разложения взрывчатого вещества. С другой стороны, в процессе расширения газообразных продуктов взрыва в среде распыляющейся воды происходит охлаждение их за счет теплообмена [17]. Было показано, что наличие слоя воды толщиной 4—5 мм вокруг заряда ВВ предотвращает воспламенение метана и угольной пыли от взрыва победита ВП-2 до 0,75 кг и 62%-ного динамита — до 0,54 кг.

Дальнейшими нашими исследованиями было доказано также, что распыление воды из шпуров с частичным превращением ее в пар позволяет создавать предохранительную среду у забоя выработки, примыкающую к шпuru. Таким образом, взрыв одного шпурового заряда с гидрозабойкой позволяет создавать предохранительную водяную завесу у устья смежного заряда, иницируемого электродетонатором с большим временем замедления.

Окружение заряда в шпуре водой обладает весьма высокой удельной теплоемкостью, исключает поджигание ВВ. Поэтому наличие воды в шпурах и скважинах в настоящее время можно рассматривать как самое эффективное средство борьбы с выгораниями зарядов в шахтах.

Безопасность и эффективность взрывных работ, как известно, неразрывно связана с устойчивой детонацией ВВ. Для определения влияния водяной забойки на устойчивость детонации взрывчатого вещества при групповом взрывании зарядов по углю нами 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.

Откольные явления при ведении взрывных работ по углю имеют большое значение [15]. Взрыв одного или двух зарядов аммонита ПЖВ-20 весом до 0,6—0,9 кг каждый приводит к значительной деформации соседних шпуров, расположенных на расстоянии до 0,5—0,7 м и менее. При этом часть шпура в месте нахождения патронов обычно полностью забивается угольной мелочью. После ее удаления лотком-чищалкой диаметр шпура в зоне его разрушения, как правило, превышает 60 мм.

Совершенно иное расположение наблюдается при заливке сближенных шпуров водой. В табл. 29 приведены результаты опытных взрываний по углю на пяти шахтопластах Донбасса. Из данных таблицы видно, что шпуры с водой, расположенные на расстоянии 0,3 м и более от взрывааемых зарядов аммонита ПЖВ-20 весом 0,9 кг, за счет проявления откольных явлений либо совершенно не увеличиваются в диаметре, либо получают незначительные деформации. В последнем случае отколота угольная мелочь легко вычищается из них лотком-чищалкой. В то же время не заполненные водой шпуры, пробуренные на этих же пластах, даже на расстоянии 0,45—1,05 м от взрывааемых зарядов полностью перекрываются и с трудом очищаются от отколотой угольной мелочи.

Таблица 20

Место проведения взрывных работ	Мощность пласта, м	Крепость угля	Вес взрываемого заряда, кг	Расстояние от взрываемого заряда до шпура с зарядом, м	Деформация исследуемого шпура	Примечание
2-й восточный транспортный штрек пласта шахты «Ханженковская-Северная»	0,62	Крепкий, вязкий	0,9	0,5 0,4—0,5 0,35—0,65	Деформация не наблюдалась Небольшой откол посередине шпура по длине его 20 см Диаметр шпура не изменился	— Шпур без воды на расстоянии 0,75—1,05 м полностью не режет То же
3-я восточная лавя пласта шахты им. Ленина	0,8	Средней крепости	0,9	0,45 0,45	То же Диаметр шпура не изменился	Шпур без воды на 0,6 м от взрываемого заряда полностью забит отколотой мелочью
Лавя пласта k, шахты «Холенинская» № 2	0,9	Средней крепости	0,9	0,36—0,48 0,57 0,42	Незначительная деформация нижней части шпура на длине 0,2 м Деформация нижней части шпура на длине 0,45 м	—
Западная уклон пласта k' шахты «Октябрьская»	0,9	Средней крепости	0,9	0,5 0,6	Частичная деформация шпура по всей длине	Шпура без воды на 0,45—0,76 м полностью забиты спрессованной отколотой мелочью
Лавя пласта m, шахты «Ясная» № 3—5	0,9	Крепкий, вязкий	1,8 1,8 0,9 0,9	0,20—0,37 0,29—0,38 0,42—0,45 0,4—0,65	Диаметр шпура увеличился с 45 до 56 мм Диаметр шпура увеличился до 55—65 мм Шпур не деформирован	—

Скорость детонации предохранительных ВВ в смежных шпурах с водой, расположенных на расстоянии 0,3—0,4 м от ранее взрывааемых зарядов, как показали проведенные исследования, не снижается. Таким образом было подтверждено, что при взрывных работах по углу наличие воды в шпурах препятствует развитию явлений откола и способствует устойчивости детонации зарядов. Это дало возможность уменьшить минимально допустимые расстояния между соседними шпуровыми зарядами ВВ IV класса диаметром 36 мм с 0,6 до 0,4 м [48].

Применение водяной забойки снижает пылеобразование при взрыве и уменьшает образование в призабойном пространстве ядовитых газов, что улучшает санитарные условия труда горняков и способствует повышению производительности труда [48].

Практика производства взрывных работ на отечественных и зарубежных шахтах показывает, что использование водяной забойки, как правило, повышает эффект взрывания. Коэффициент использования шпуров при этом может увеличиваться по сравнению с глиняной забойкой на 0,05—0,12.

Таким образом, как с точки зрения безопасности, так и эффективности взрывных работ вода является одним из лучших забоечных материалов. Однако в отдельных случаях при использовании водяной забойки могут происходить отрицательные явления, связанные с вытеканием или выбрасыванием воды из шпуров.

Для подтверждения возможности вытекания воды из шпуров проводились наблюдения на трех шахтопластах Донбасса в нерабочих забоях, где имелись явно выраженные трещины, и в действующих забоях откаточных штреков, где явно выраженной трещиноватости не было, а также в породном забое опытной шахты, где породы были представлены нарушенными глинистыми сланцами. В пробуренные по углу наклонные шпуры заливалась вода и определялся объем ее через различные промежутки времени.

Было установлено, что в угольных забоях с явно выраженной трещиноватостью вода вытекала из шпуров медленно, и через несколько минут ее уровень снижался на несколько десятков сантиметров. В породном забое опытной шахты МакНИИ вода из наклонных шпуров вытекала так же, как и из шпуров в нерабочих забоях с отжатым углем.

В угольных забоях, не имеющих явно выраженной трещиноватости, вода не вытекала из шпуров. В таких случаях уровень ее либо совершенно не снижался через 1,5 ч после заливки, либо снижался за это время на 10—20 см. Следовательно, ориентировочным показателем возможности удержания воды в наклонных шпурах может быть отсутствие явно выраженной трещиноватости взрывааемого массива. Однако для надежного предотвращения воспламенения метана и угольной пыли следует применять в наклонных шпурах, залитых водой, запирающую забойку из твердых материалов длиной не менее 30 см. Такая двухслойная забойка,

состоящая из воды и инертных материалов, называется комбинационной.

В практике производства взрывных работ известны случаи выбрасывания водяной и другой забойки из шпуров от действия взрыва смежных шпуровых зарядов. Изучение этого явления, проведенное с помощью специальных контактных датчиков и регистрирующей аппаратуры в угольных и породных забоях, показало следующее.

При групповом взрывании зарядов в обводненных забоях и при заливке воды в наклонные шпуры без использования запирающей забойки может произойти выбрасывание внутренней забойки, раздвигание патронов взрывчатого вещества и в отдельных случаях — полное выбрасывание заряда ВВ. Указанные явления наблюдаются, как правило, при сближенном расположении шпуров.

Смещение забойки из воды от действия взрыва зарядов в смежных шпурах начинается в большинстве случаев менее чем через 1 мсек после подачи импульса тока во взрывную сеть. Однако общее время ее выбрасывания является относительно большим. Даже в наиболее неблагоприятных условиях, когда на такую забойку воздействует взрыв сближенного до 0,2—0,3 м смежного шпурового заряда, это время превышает 120 мсек.

Полное выбрасывание водяной забойки из наклонных шпуров при отсутствии в них запирающей забойки происходит во многих случаях от действия взрыва смежного шпурового заряда аммонита ПЖВ-20 весом 0,6—0,9 кг на расстоянии до 50 см.

Преждевременное выбрасывание водяной забойки из шпуров от действия взрыва смежного заряда может явиться причиной воспламенения метано-пылевоздушных смесей при многоприемном способе ведения взрывных работ. При этом отсутствие забойки в шпурах перед вторым приемом взрывания создает условия для свободного прорыва высокотемпературных продуктов детонации в выработку, загазирование которой в особо опасных забоях может происходить после взрывания зарядов первого приема.

Выбивание же водяной забойки не создает дополнительной опасности взрыва метано-воздушной смеси в шахтах, опасных по газу, при одноприемном короткозамедленном взрывании. Это объясняется большой (более 120 мсек) длительностью процесса полного выбивания ее и сравнительно малым (менее 100 мсек) допустимым интервалом времени замедления электродетонаторов короткозамедленного действия в соседних шпуровых зарядах.

Воздействие взрыва шпуровых зарядов может приводить к перемещению и даже к полному выбрасыванию отдельных патронов и всего заряда ВВ из соседних шпуров.

Следует отметить, что скорость перемещения патронов в шпурах с водой без запирающей забойки является относительно высокой и в среднем составляет 0,6—9,3 м/сек. При этом было отмечено, что в отдельных случаях подвижка патрона на первые

2—6 мм зарегистрирована за время, меньшее 1 мсек, на расстоянии 2—3 см — за 3—38 мсек; отрезки пути, равные 4; 4,9; 7 и 8,4 см, преодолевались соответственно за 7, 13, 25 и 22 мсек.

Раздвигание патронов ВВ создает опасность получения неполной детонации зарядов в шпурах с водой при применении электродетонаторов короткозамедленного и замедленного действия. Для предотвращения отказов части зарядов, инициируемых электродетонаторами ЭДКЗ, и для уменьшения их вероятности при использовании электродетонаторов ЭДКЗ в шпурах с водой необходимо применять запирающую забойку длиной не менее 30 см из песка, граншлака или в крайнем случае смеси песка с глиной. Заблочные материалы в обводненных шпурах следует досылать до заряда ВВ. Кроме того, для обеспечения устойчивой детонации всех патронов ВВ в указанных условиях взрывания целесообразно электродетонаторы короткозамедленного действия применять без пропуска серий замедления.

Выбрасывание воды из соседних шпуров и раздвигание патронов ВВ в них при групповом взрывании происходит в результате воздействия ударной волны на смежные шпуры.

Сближенное расположение шпуров может приводить к возбуждению детонации в одном заряде от действия взрыва соседнего заряда. Это явление отмечено в шпурах по углю при использовании аммонита ПЖВ-20 на расстояниях между ними до 20 см и в шпурах по породе, где применялся скальный аммонит № 1 прессованный, до 38 см. Возбуждение детонации происходит за счет зажигания воспламенительной головки или детонации инициирующего ВВ в электродетонаторе.

Таким образом, обобщая изложенные данные, можно сделать следующие выводы:

1) практически способом применения гидрозабойки является комбинированная забойка, при которой, кроме заполнения наклонных шпуров или скважин водой на всю их длину, используется запирающая забойка;

2) взрывание скважинных зарядов, используемых для борьбы с выбросами угля и газа, целесообразно осуществлять при непрерывной подаче воды в скважину;

3) окружение зарядов ВВ в шпурах водой в сочетании с запирающей забойкой при взрывании их от искробезопасной машинки позволяет обеспечивать безопасность взрывных работ на уровне беспламенного взрывания.

§ 21. Водостойкость взрывчатых материалов

Производство взрывных работ в мокрых забоях и с водяной забойкой в шпурах и скважинах вызывает необходимость использования для этой цели водостойких ВВ и электродетонаторов. Особенно жесткие требования предъявляются к тем взрывчатым ма-

териалам, которые предназначены для применения под давлением воды.

В настоящее время в угольных шахтах используются ВМ, рассчитанные на наличие воды в шпурах. Однако анализ качества аммиачноселитренных ВВ показывает, что их водостойкие свойства не удовлетворяют полностью условиям ведения взрывных работ с гидрозабойкой.

Взрывчатые вещества аммонит ПЖВ-20, победит ВП-4 и подобные им по составу по существующим требованиям должны устойчиво детонировать после замочки в воде в течение 1 ч на глубине 1 м. При этом минимальная величина передачи детонации для аммонита ПЖВ-20 должна составлять не менее 2 см вместо 5 см для сухих патронов.

Для определения возможности использования взрывчатых веществ при взрывании зарядов в водяном окружении было проведено испытание их на безотказность взрыва после выдержки в воде на глубине 1 м в течение 2—4 ч. Качество испытуемых ВВ после замочки устанавливалось путем взрывания от электродетонатора типа ЭД-8-56 определением величины передачи детонации по существующей методике. Результаты испытаний приведены в табл. 30.

Таблица 30

Наименование ВВ	Вес патрона, г	Диаметр патрона, мм	Длительность замочки в воде, ч	Величина передачи детонации, см
Аммонит ПЖВ-20	300	36	2	2 Детонация впрыток
	300	36	4	
Победит ВП-4	250	36	2	5
	250	36	4	2
Скальный аммонит № 1 прессованный	250	36	2	4
	250	36	4	3

Из данных табл. 30 видно, что аммонит ПЖВ-20 и победиты обладают примерно одинаковыми водостойкими свойствами. Величина передачи детонации их при качественном изготовлении после двухчасового пребывания в воде без нарушения целостности оболочек патронов составила менее 2 см. Однако при нарушении оболочек патронов и после такого же времени пребывания в воде эти ВВ, кроме прессованного скального аммонита № 1, дают отказы.

Промышленные аммиачноселитренные ВВ значительно быстрее теряют детонационные свойства после выдержки их в воде под избыточным давлением (табл. 31).

Так, аммонит ПЖВ-20, наиболее распространенный в последние годы ВВ в шахтах, опасных по газу или пыли, после выдерж-

Наименование ВВ	Давление воды, <i>ати</i>	Длительность выдержки в воде, <i>мин</i>	Результаты испытания
Аммонит ПЖВ-20	1,0	10	Детонация впритык или отказ
То же	2,5	10	Отказ
Угленит Э-6	1,0	10	Отказ
Скальный аммонит № 1 прес-сованный	2,5	90	Передача детонации 1 см
Динамит 62%-ный	2,5	120	Передача детонации более 20 см
Аммонит ТГ-15 или МГ-25 в полиэтиленовом шланге	1,0	10	Детонация впритык или отказ
Аммонит ПЖВ-20 в полиэтиленовом шланге	1,5	60	Детонация впритык
То же	2,5	60	Детонация впритык или отказ

ки в воде в течение 10 *мин* под избыточным давлением 1 *ати* начинает давать отказы. Подобные результаты дают сплошные шланговые заряды из аммонитов МГ-25 и ТГ-15, если не принимать специальных мер по герметизации полиэтиленового шланга в месте выхода проводов электродетонатора.

Более высокой водостойкостью обладает прессованный скальный аммонит № 1, который после выдержки в воде под давлением 2,5 *ати* даже в течение 90 *мин* способен устойчиво детонировать. Динамит 62%-ный совершенно не подвержен размоканию и, следовательно, не способен терять свои детонационные свойства.

Помещение патронов ВВ в полиэтиленовый шланг толщиной 0,1 *мм* не всегда дает положительные результаты, так как вода при наличии избыточного давления способна проникать в него в месте выхода проводников электродетонатора. Поэтому длительность нахождения такого заряда в воде под давлением должна быть максимально сокращена, а герметизация узлов должна быть хорошей.

Кроме уточнения водостойких свойств взрывчатых веществ, была сделана оценка таких свойств у электродетонаторов мгновенного и короткозамедленного действия.

В настоящее время отечественные электродетонаторы рассчитаны на безотказность взрывания их после выдержки в воде на глубине 1 *м* в течение 2 *ч*. Проводимые испытания их на водостойкость, как правило, дают удовлетворительные результаты, что создает условия для безотказного инициирования зарядов в обводненных забоях.

Дополнительные исследования позволили установить, что электродетонаторы не теряют своих взрывных свойств после вы-

держки в воде под давлением до 10 *ати* и начинают давать отказы при давлении 20—25 *ати* вследствие проникновения воды в гильзы.

§ 22. Полиэтиленовые ампулы

Наиболее простым способом применения гидрозабойки при взрывных работах в угольных шахтах, опасных по газу или пыли, является забойка из полиэтиленовых ампул, заполняемых водой. Они широко применяются при взрывании зарядов ВВ в угольных

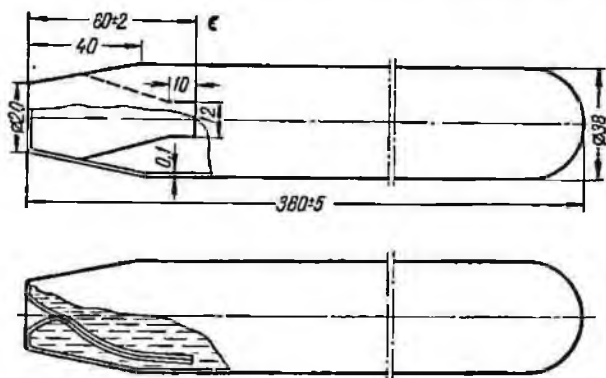


Рис. 48. Ампулы с обратным самозакрывающимся клапаном

и породных забоях в горизонтальных, наклонных и восстающих шпурах. На практике могут применяться ампулы разных конструкций, однако наиболее распространены сейчас ампулы с обратным клапаном, предложенные нами для шпуров, в которых взрываются заряды ВВ диаметром 36—37 мм (рис. 48). Предполагается, что годовой расход таких ампул в угольных шахтах через 2—3 года составит около 200 млн. штук.

Наружный диаметр ампул с водой при использовании буровых коронок 42—43 мм необходимо принимать равным 37—38 мм. Толщина полиэтиленовой пленки может колебаться в пределах от 0,08 до 0,2 мм при длине ампул 300—400 мм, однако преобладающее большинство их выпускается длиной 350 мм и имеет толщину пленки 0,1 мм.

Одним из недостатков применения ампулы рассматриваемой конструкции в шахтах и рудниках, опасных по газу или пыли, является наличие зазора (от 4 до 10 мм) между ее оболочкой и стенкой шпура. Поэтому для предотвращения воспламенения метано-пылевоздушных смесей от прорыва продуктов детонации через указанные зазоры необходимо применять запирающую забойку из глины или смеси глины с песком длиной не менее 0,15 м. Ампулы с обратным клапаном заполняются водой в призабой-

ном пространстве выработки до начала заряжания шпуров. Для этой цели целесообразно использовать специальные приспособления, схематическое устройство которых показано на рис. 49 [48]. В шпуре ампула с водой находится между зарядом ВВ, плотно прилегая к патрону-боевику, и запирающей забойкой, поджимаю-

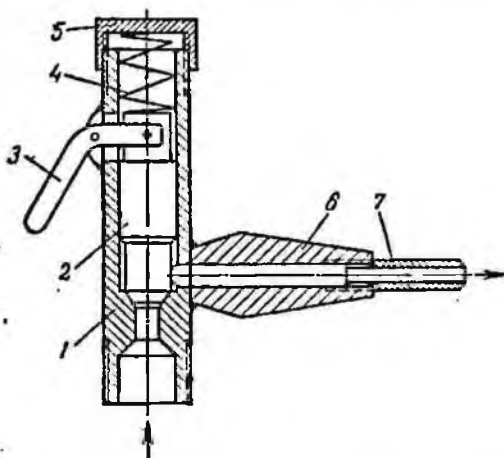


Рис. 49. Приспособление для заполнения ампул водой:

1 — корпус; 2 — регулятор; 3 — рычаг включения; 4 — пружина; 5 — крышка; 6 — коническая палсадка; 7 — трубка диаметром 7 мм

щей ее (рис. 50, а). Для борьбы с пылеобразованием и для повышения безопасности взрывных работ в отдельных случаях дополнительно могут применяться ампулы с водой, располагаемые у дна шпура (рис. 50, б).

Саморасклинивающиеся ампулы конструкции ВостНИИ (рис. 51) обеспечивают полное перекрытие всего поперечного сечения шпура за счет увеличения диаметра ампулы с 37—38 до 47—49 мм под действием образующихся газов при реакции химического реагента с водой. Химический реагент в одном из вариантов состоит из карбоната натрия, кристаллической щавелевой кислоты и экстракта солодкового корня в соотношении 1 : 1 : 1. При таком соотношении компонентов в течение 3—4 мин происходит реакция взаимодействия химического реагента с водой с образованием пеногазовой среды. Этого времени вполне достаточно для досылки ампулы в шпур.

Полное перекрытие поперечного сечения шпура достигается также при использовании телескопических ампул конструкции ИГД им. А. А. Скочинского, имеющих наружный диаметр 45—48 мм. Они прошли промышленные испытания и допущены

к применению при взрывных работах в шахтах, опасных по газу или пыли.

На практике могут использоваться водонаполненные полиэтиленовые оболочки (шланги), в которые помещается заряд водо-

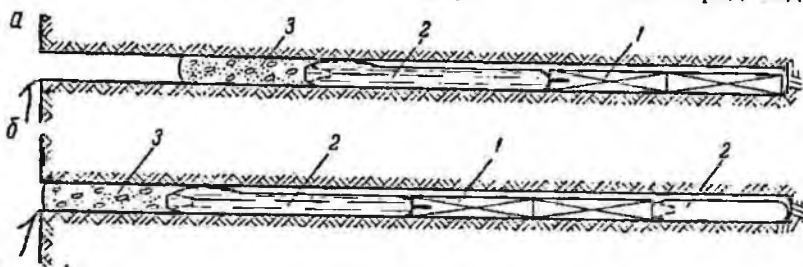


Рис. 50. Схема расположения ампулы в шпуре:

1 — заряд ВВ; 2 — полиэтиленовая ампула с водой; 3 — запирающая забойка

устойчивого ВВ. Применение таких зарядов ВВ, окруженных водой, считается целесообразным в трещиноватых породах и в других особо опасных условиях газовых шахт. Такие снаряженные ВВ шланги посылаются в шпур и после этого заполняются водой [48].



Рис. 51. Саморасклинная ампула:

1 — оболочка ампулы; 2 — затвор ампулы; 3 — химический реагент

В настоящее время ампулы всех конструкций изготавливаются из полиэтилена. Однако для этой цели можно использовать полихлорвинил или другие пластические материалы, удовлетворяющие необходимым требованиям.

Минимально допустимая длина водяной забойки в ампулах любой конструкции для шпуровых зарядов при производстве взрывных работ в шахтах, опасных по газу или пыли, принимается равной 0,3 м. Кроме того, дополнительная запирающая забойка из глины в шпуре должна быть не менее 0,15 м.

Для увеличения эффекта взрыва зарядов ВВ в шпурах глубиной более 1,5 м длина водяной забойки может быть увеличена. Так, например, для саморасклинняющихся ампул с химическим

реагентом конструкции ВостНИИ при глубине шпуров 1,6—3 м и величине заряда 0,6—1 кг оптимальной длиной забойки считается 0,8—1 м.

Применяемые в газовых шахтах полиэтиленовые ампулы имеют обычно толщину оболочки 0,1 мм. При введении их в шпур возможны случаи прокола или разрыва. Кроме того, в отдельных случаях при некачественном изготовлении ампул могут происходить утечки воды из них. Поэтому мастеру-взрывнику следует иметь запасные ампулы в количестве 10—20% от требуемого паспортом БВР числа их.

Полиэтиленовые ампулы для гидрозабойки изготавливаются заводами по переработке пластмасс. Однако производство их может осуществляться из шланга или пленки на станках-полуавтоматах в специальных мастерских угольных комбинатов или даже при шахтах. В 1970 г. было изготовлено в таких мастерских более 25 млн. штук ампул с обратным клапаном конструкции МакНИИ и ПечорНИИУИ. Стоимость таких ампул составила 1,2—2,0 коп. за штуку.

§ 23. Другие способы гидрозабойки

Пульпа или паста

Используемая для забойки шпуров пульпа является смесью сланцевой пыли или глины с водой в пропорции 2:1. При такой консистенции пульпообразные смеси медленно растекаются по ровной поверхности и не вытекают из горизонтальных и восстающих (до 10°) шпуров. Поэтому применение их не требует дополнительного использования запирающей забойки.

Подача пульпы в шпуров при помощи пульподатчика приводит к частичному или полному заполнению радиального зазора между зарядом ВВ и стенками шпура. При диаметрах шпуров и патронов ВВ, соответственно равных 45—48 и 36—37 мм, радиальный зазор заполняется пульпой на длину 30—50 см, т. е. на полтора-два патрона аммонита ПЖВ-20 весом по 250 или 300 г каждый. Окружение заряда ВВ водонасыщенным составом, обладающим пламегасящими свойствами, и способность пульпы заполнять крупные трещины позволяет повысить безопасность взрывных работ по сравнению с глиняной забойкой.

Для приготовления пульпы в шахтных условиях целесообразно использовать сланцевую пыль, в том числе непригодную для сланцевых заслонов из-за повышенной влажности. Консистенция пульпообразных и пастообразных смесей, используемых в качестве внутренней забойки, должна исключать вытекание их из шпуров или скважин.

Пульпа в шпуров может подаваться специальными ручными или механическими пульподатчиками. Последние приводятся в действие сжатым воздухом или водой, подаваемой под давлением

3—4 *ати*. Простейшим устройством ручного пульподатчика является поршневой насос-шприц (рис. 52). Заполнение шпуров пульпой на длину 1,2—1,5 м при помощи такого шприца производится через трубку, вставляемую в шпур, в среднем за 20—30 сек.

Опробование этого способа гидрозабойки на ряде шахт Донбасса дало положительные результаты. Однако было отмечено, что при введении пульпообразных составов в горизонтальные или

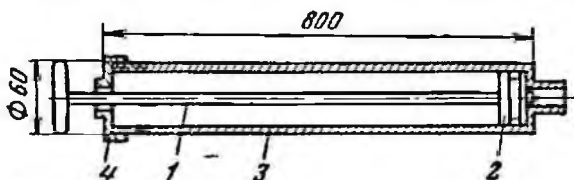


Рис. 52. Шприц для подачи пульпы в шпур:
1 — шток с рукояткой; 2 — поршень; 3 — корпус;
4 — крышка

восстающие шпуры, как правило, в части шпура остается воздух, способный в отдельных случаях привести к раздвижке патронов ВВ. Такое явление исключается при применении монозарядов в полиэтиленовых шлангах, введении трубок для выхода воздуха из данной части шпура или при использовании специальных распорных приспособлений.

В отдельных случаях в качестве внутренней забойки может применяться желатинообразная паста, содержащая значительно большее количество воды по сравнению с пульпой и представляющая собой более вязкую массу. Так, например, паста, приготовленная на основе гидрогеля кремниевой кислоты, содержит 90—95% воды и обладает достаточной вязкостью, что позволяет использовать ее в восстающих шпурах с углом подъема до 50° и более.

Вода под избыточным давлением

Этот способ обеспечивает высокую безопасность взрывных работ, улучшает санитарные условия и увеличивает эффект взрыва. Однако необходимость применения специального оборудования и известная сложность в организации работ позволяют использовать его лишь в отдельных случаях.

Избыточное давление воды создается за счет применения оборудования, рассчитанного на закачивание воды и удержание ее в шпурах. При скважинном методе ведения взрывных работ, кроме того, может создаваться гидростатическое давление воды.

Вода в шпуры закачивается различными насосами, способными создавать давление воды 15—20 *ати* и более. От насоса к шпурам вода подается по специальным шлангам, способным выдержать

избыточное давление, которое создается в ставе водопровода. Вода под избыточным давлением в шпурах удерживается гидрозатворами, пригодными для многократного применения при взрывных работах. Герметизация шпуров осуществляется за счет сжатия толстостенной резиновой насадки или распора прорезиненной оболочки самого затвора.

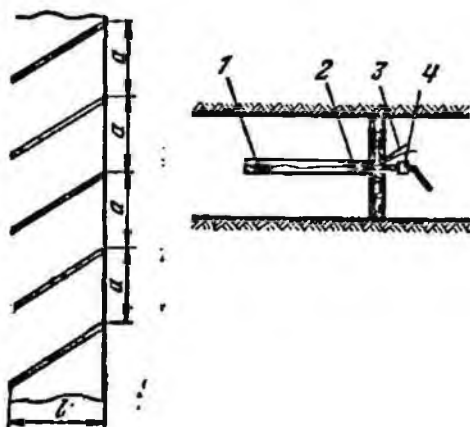


Рис. 53. Примерная схема расположения шпуров для взрывания зарядов ВВ под избыточным давлением:

1 — заряд ВВ; 2 — гидрозатвор; 3 — провода электродетонаторов; 4 — место подсоединения шланга с водой

Для закачивания воды в шпуры можно также применять водопроводы, используемые в шахтах для орошения призабойного участка или для мокрого бурения.

Взрывание зарядов под давлением воды требует применения специальных взрывчатых веществ. При отсутствии таких ВВ могут использоваться аммониты ПЖВ-20, Т-19 и скальный № 1 прессованный, устойчиво детонирующие под избыточным давлением воды при заключении их в водонепроницаемые оболочки. Однако время нахождения таких зарядов в шпурах и скважинах в этих условиях должно быть минимальным.

Взрывание шпуровых зарядов по углю на шахтах Донбасса показало, что при герметизации шпуров гидрозатворами на расстоянии 20—40 см от их устьев максимальное избыточное давление воды составляло 15—20 атм. При нагнетании вода хорошо заполняет трещины и через несколько минут ее следы обнаруживаются в забое на расстоянии 60—70 см от места заложения гидрозатворов.

Высокая эффективность взрывания при использовании этого способа гидрозабойки достигается при двухприемном закачивании

воды в шпур. При первом приеме, длительность которого исчисляется обычно 2—3 мин, прилегающая к шпuru часть угольного массива пропитывается водой, о чем свидетельствует «потение» забоя, т. е. выделение капель влаги. После этого подача воды в шпур прекращается и производится его зарядание. При втором приеме закачивания воды, исчисляемом несколькими секундами, производится взрывание заряда ВВ. Следует отметить, что во втором случае воду можно подавать под меньшим избыточным давлением, чем в первом случае.

Способ взрывания шпуровых зарядов под избыточным давлением воды может применяться для отбойки угля в лавах при наличии машинного вруба с верхней или средней подрубкой и в неподрубленном угле на вторую обнаженную поверхность, а также в отдельных случаях в угольных забоях подготовительных выработок с одной поверхностью обнажения. Величину заряда на шпур длиной 1,5—2 м и в этом случае целесообразно принимать в пределах от 0,2 до 0,5 кг.

В неподрубленном угле в очистных забоях шпурцы целесообразно бурить со значительным углом наклона (до 45°) к направлению подвигания. Примерная схема расположения шпуров, а также заряда и гидрозатвора в них показана на рис. 53.

Глава VI

ВЫБОР СПОСОБОВ СОЗДАНИЯ ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ В ШАХТАХ

§ 24. Классификация выработок по опасности взрывных работ

В настоящее время категория угольной шахты по газу, разрабатывающей два и более пласта, определяется по газовыделению пласта, имеющего самую высокую газообильность. В то же время другие пласты этой же шахты имеют меньшую газоносность или могут быть совершенно неопасными по метану. Такая классификация не позволяет характеризовать степень опасности взрывных работ и производить выбор безопасных параметров взрывания для различных условий даже одной шахты. Поэтому для определения рациональной области применения предложенных способов создания предохранительной среды при использовании ВВ разных классов было бы целесообразно составить классификацию выработок по степени опасности взрывных работ в них [51, 52].

Все выработки в зависимости от газовыделения и наличия взрывчатой угольной пыли в них нами условно разделяются на три группы: неопасные, опасные и особо опасные.

Указанное разделение выработок нельзя считать абсолютно полным при выборе безопасных способов их проведения. Однако оно позволяет дать конкретные рекомендации по выбору безопасных и эффективных параметров взрывных работ в различных условиях.

§ 25. Выбор безопасных параметров взрывных работ

Выбор способов создания предохранительной среды, взрывчатых веществ, средств взрывания и режима ведения взрывных работ следует производить в зависимости от степени опасности группы забоев выработок. Рекомендуемые безопасные параметры взрывных работ для каждой группы выработок приведены в табл. 32.

Приведенное в табл. 32 разделение выработок по степени опасности взрывных работ не противоречит требованиям Единых правил безопасности при взрывных работах. Область и условия

Таблица 32 Ж

Группа и перепись выработок	Класс ВВ (не ниже)	Тип электродетонаторов и максимальный интервал заминирования	Предохранительная среда	Примечание
<p>Неопасные:</p> <p>1) выработки, проводимые по породе или угольным пластам, не опасным по пыли, в негасовых шахтах</p> <p>2) выработки, проводимые по неопасным по пыли пластам, где не обнаружен метан, в шахтах I и II категории по газу</p> <p>3) проводимые по породе выработки газовых шахт, в которых не обнаружен метан</p>	<p>II</p> <p>II</p> <p>II</p>	<p>Не регламентируется</p> <p>То же</p> <p>То же</p>	<p>—</p> <p>—</p> <p>—</p>	<p>Допускается применение огневого взрывания</p> <p>—</p> <p>—</p> <p>—</p>
<p>Опасные:</p> <p>1) выработки, проводимые по пластам, опасным по пыли, в негасовых шахтах</p> <p>2) выработки, в которых после взрывания по уголю концентрация метана не превышает 2% для пластов, опасных по пыли, и 3% для пластов, не опасных по пыли</p>	<p>IV</p> <p>IV</p>	<p>Мгновенные, ЭДКЭПМ-15 или ЭДКЭПМ-25 до 195 мсек</p> <p>То же</p>	<p>Водораспылительные завесы</p> <p>То же</p>	<p>—</p> <p>—</p>

Группа и перечень выработок	Класс ВВ (не ниже)	Тип электродетонаторов и максимальный интервал замедления	Предохранительная среда	Примечание
3) проводимые по породе выработки, в которых обнаружен метан Те же выработки	III	Мгновенные, ЭДКЗПМ-15 или ЭДКЗПМ-25 до 195 мсек	Водораспылительные завесы	—
	II	Мгновенные, ЭДКЗПМ-15 или ЭДКЗПМ-25 до 300 мсек	Водораспылительные завесы в горизонтальных и наклонных выработках; подтопление забоя на высоту не менее 0,2 м—в вертикальных стволах	—
Особо опасные:				
1) проводимые по углю или по углю и породе тупиковые выработки, в которых после взрыва концентрация метана превышает 2% для пластов, опасных по пыли, и 3% для пластов, не опасных по пыли, а также проводимые по углю или по углю и породе выработки, в тупиковой части которых имеются действующие суффлярные выделения метана	V	Мгновенные, ЭДКЗПМ-15 или ЭДКЗПМ-25 до 135 мсек	Водораспылительные завесы или воздушно-механическая пена	Взрывание производится с расстояния не менее 200 м от забоя
2) восстающие выработки, проводимые по газоносным пластам с углом наклона более 10°	Патроны беспламенного взрыва	—	—	—

Группа и перечень выработок	Класс ВВ (не ниже)	Тип электродетонаторов и максимальный интервал замедления	Предохранительная среда	Примечание
3) восстающие выработки, проводимые по газоносным пластам с углом наклона до 10°	V	Мгновенные, ЭДКЗПМ-15 до 135 мсек	Воздушно-механическая пена	—
4) проводимые по породе выработки, в тупиковой части которых имеются действующие суффляры	III	Мгновенные, ЭДКЗПМ-15 или ЭДКЗПМ-25 до 135 мсек	Водораспылительные завесы	Взрывание производится с расстояния не менее 200 м от забоя
5) выработки, проводимые по выбросоопасным породам	III	То же	Водораспылительные завесы в сочетании с туманообразователями	Взрывание производится с расстояния не менее 600 м
То же выработки	II (скальный аммонит № 1 прессованный)	»	То же	Взрывание производится с поверхности шахты
6) выработки, проводимые, на пластах, склонных к выбросам угля и газа	IV или патроны ПВП-1-У	»	Водораспылительные завесы	Взрывание производится с расстояния не менее 600 м (считая по свежей струе)
7) выработки, вскрывающие пласты, склонные к выбросам угля и газа	IV	»	То же	Взрывание производится с расстояния не менее 1000 м (считая по свежей струе)

применения указанных способов создания предохранительной среды изложены в действующих нормативных документах.

Использование гидрозабойки, как указывалось раньше, повышает безопасность взрывных работ и усиливает эффективность действия водораспылительных завес. Однако при взрывании зарядов по трещиноватым породам на две обнаженные поверхности и в ряде других случаев гидрозабойка не может заменить действия водяных завес. Поэтому при производстве взрывных работ в тупиковых забоях выработок, проводимых по газоносным пластам, целесообразно применять оба указанных способа создания предохранительной среды.

Следует также отметить, что увеличение времени замедления электродетонаторов короткозамедленного действия для выработок, отнесенных к группе опасных, принято в соответствии с «Руководством по применению водяных завес при взрывных работах и угольных шахтах», утвержденным Министерством угольной промышленности СССР в 1966 г.

§ 26. Сравнительная оценка способов создания предохранительной среды

В угольных шахтах, опасных по газу или пыли, наиболее широко применяют водяные завесы, создаваемые взрывным распылением воды из полиэтиленовых сосудов.

Воздушно-механическая пена является эффективным способом создания предохранительной среды длительного действия. Однако применение пены требует изготовления специального оборудования, наличия водопровода с определенным давлением воды и качественного вентиляционного трубопровода, а также связано с расходом относительно большого количества пенообразователя. Поэтому область применения высокочрезвычайно воздушно-механической пены, которая в настоящее время рекомендована для отдельных особо опасных забоев, будет определена после проведения широких промышленных испытаний и внедрения ее в основных бассейнах Советского Союза.

Порошки ингибиторов не имеют явных преимуществ по сравнению с водораспылительными завесами и воздушно-механической пеной. Поэтому они могут быть рекомендованы к применению в тех условиях, где использование указанных сред по каким-либо причинам невозможно.

Высокими защитными свойствами обладают водяные форсуночные завесы длительного действия. При правильном использовании их исключается воспламенение метана и угольной пыли от всех источников воспламенения в течение всего времени работы водораспылительной установки. Внедрение таких завес в сочетании с устойчиво детонирующими сплошными зарядами или при окружении патронов ВВ в шпурах и скважинах водой позволит производить взрывные работы в угольных шахтах, опасных по

газу или пыли, на уровне беспламенного взрывания. Однако для применения их требуются насосы производительностью 100—200 л/мин, создающие давление 30—40 атм, а также высоконапорные шланги. Высокая безопасность взрывных работ в настоящее время обеспечивается за счет применения патронов ПВП-1-У в сочетании с водораспылительными завесами и искробезопасными взрывными приборами.

Широкое распространение в угольных шахтах в последние годы находят гидрозабойка из полиэтиленовых ампул с водой и комбинированная забойка. В ближайшие 2—3 года этот вид забойки, применяемый в сочетании с водяными завесами, станет основным в угольных шахтах. Следует отметить, что изготовление полиэтиленовых ампул в специальных мастерских, подчиненных угольным комбинатам, позволяет получать более дешевые ампулы и исключает транспортировку их на большое расстояние.

В заключение следует отметить, что способы создания предохранительной среды являются неотъемлемым средством обеспечения безопасности взрывных работ в угольных шахтах, опасных по газу или пыли. Использование их позволяет также улучшать санитарные условия труда шахтеров и в определенных случаях повышать эффект взрывания. Внедрение надежной предохранительной среды длительного действия исключит возможность воспламенения метана и угольной пыли от всех источников, в том числе от выгорающего заряда ВВ, и будет являться основным способом обеспечения безопасности взрывных работ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Стигачев В. И., Зубков П. Н. Причины воспламенения метана и угольной пыли. «Безопасность труда в промышленности», 1969, № 8.
2. Росинский Н. Л. Исследование основных параметров короткозамедленного взрывания. Сб. «Короткозамедленное взрывание», М., Углетехиздат, 1958.
3. Бобров И. В. Способы безопасного проведения подготовительных выработок на пластах, опасных по выбросам. М., Госгортехиздат, 1961.
4. Бутуков А. Ю., Василянский Н. П. и др. Прибор для автоматического набора проб рудничного воздуха при взрывных работах. Сб. статей МакиНИИ «Борьба с газом и пылью в угольных шахтах», вып. 6. Макеевка — Донбасс, 1970.
5. Гольбшндер А. И., Андреев К. К. Антигизутные взрывчатые вещества. М., Углетехиздат, 1947.
6. Бекирбаев Б. Д., Гродель Г. С. и др. Борьба с угольной и породной пылью в шахтах. М., Госгортехиздат, 1959.
7. Стигачев В. И. О некоторых закономерностях газовыделения при сотрясательных взрывах. «Сборник научных статей МакиНИИ», № 15, 1960.
8. Божко В. Л., Клышкань А. Ф. Прозеривание подготовительных выработок при взрывных работах по углю. Сб. «Технология добычи угля», № 2. М., изд-во «Недра», 1967.
9. Скляр Л. А., Лопатов О. А. Номограммы для расчета метановыделения из угольных выработок при взрывной отбойке. Сб. «Разработка месторождений полезных ископаемых», вып. 14. Киев, изд-во «Техника», 1968.
10. Стигачев В. И. и др. О параметрах сотрясательного взрывания по выбросоопасным породам. «Шахтное строительство», 1968, № 1

11. Стикачев В. И., Кушлеров П. И. Безопасность взрывных работ при интенсивном выделении метана в шпуре. Сб. «Техника безопасности, охрана труда и горноспасательное дело», № 3. Изд-во «Недра», 1968.

12. Зепин В. И., Тимошенко В. С. Опыт-промышленная проверка аммонита Т—19. Сб. статей МакНИИ. Макеевка — Донбасс, 1969.

13. Галаджий Ф. М., Бондаренко В. И. Способы повышения эффективности и безопасности предохранительных взрывных патронов. Сб. статей МакНИИ. Макеевка — Донбасс, 1968.

14. Стикачев В. И. и др. Влияние трещиноватости горного массива на безопасность взрывных работ в шахтах, опасных по газу и пыли. Сб. статей МакНИИ «Вопросы безопасности взрывных работ в угольных шахтах», Макеевка — Донбасс, 1968.

15. Галаджий Ф. М. и др. О переуплотнении предохранительных ВВ в шпурах и их выгорании при взрывных работах. «Сборник научных статей МакНИИ», № 15, 1961.

16. Кочерга Н. Г. Исследование воспламеняющей способности искр, образующихся при ударе стали о сталь и о породу. Сб. «Вопросы горной электротехники», т. XIV. М., Госгортехиздат, 1962.

17. Галаджий Ф. М. Новые способы обеспечения безопасности взрывных работ. Сб. «Вопросы безопасности в угольных шахтах», т. 10. М., Госгортехиздат, 1960.

18. Отласек Ф. Новый способ взрывания предохранительными ВВ в газовой атмосфере». «Аголь», № 9, 1958.

19. Стикачев В. И. и др. Совершенствование способа создания водяной завесы. «Безопасность труда в промышленности», 1966, № 10.

20. Кондрагьева Е. И., Кондратьев В. И. «Журнал физической химии», XX, вып. 4—5, 1946.

21. Семенов П. И. Цепные реакции. М., ОНТИ, 1934.

22. Семенов П. И. О некоторых проблемах химической кинетики и реакционной способности. М., изд-во АН СССР, 1958.

23. G. Audiberti «Fuel», 1948, N 5.

24. Павлович А. Б., Шубина С. М. «Журнал физической химии», XX, вып. 11, 1946.

25. Корнилова Л. В. и др. «Журнал физической химии», 1956, № 30, стр. 798.

26. Штерн В. Я. Механизм окисления углеводородов в газовой фазе. Изд. АН СССР, 1960.

27. Дубинин Л. В. Предохранительные взрывчатые вещества в горной промышленности. М., Углетехиздат, 1953.

28. Андреев К. К., Беляев А. Ф. Теория взрывчатых веществ. М., Оборонизд, 1960.

29. Дубинин Л. В. и др. Экспериментальные исследования воспламеняемости метано-воздушной смеси под воздействием взрыва ВВ.

30. Дубинин Л. В. К вопросу о методах оценки условий воспламенения шахтных сред под воздействием взрыва ВВ. Сб. «Взрывное дело», 44/1.

31. Руководство по применению водяных завес при взрывных работах в угольных шахтах. М., изд-во «Недра», 1969.

32. Стикачев В. И. и др. Исследование возможности создания водяных завес длительного действия. Сб. статей МакНИИ «Вопросы безопасности взрывных работ в угольных шахтах». Макеевка — Донбасс, 1968.

33. Jorisson, snijders, Vink — Recuell des travaux chimiques des Pays — Bas, 1940, N 59.

34. Сухаревский В. М. и др. Способ предупреждения взрывов угольной пыли и метана при производстве взрывных работ. Авторское свидетельство № 118440 от 20 января 1958 г. «Бюллетень изобретений, открытий и товарных знаков».

«сдел.

«рядами.

«х водой

«...»

HEALPA • 1972