

Д. 1133
С 91

архив

В.М. СУХАРЕВСКИЙ

ОСНОВНЫЕ
ВОПРОСЫ
СНИЖЕНИЯ
ПОЖАРНОЙ
ОПАСНОСТИ
В УГОЛЬНЫХ
ШАХТАХ

Н Е Д Р А 1964

ПРЕДИСЛОВИЕ

Новым проявлением заботы Коммунистической партии и Советского Правительства о благе народа является принятая XXII съездом КПСС грандиозная программа построения коммунистического общества в нашей стране. В ней записано: «...Всемерное оздоровление и облегчение труда — одна из важных задач подъема народного благосостояния. На всех предприятиях будут внедрены современные средства техники безопасности и обеспечены санитарно-гигиенические условия, устраняющие производственный травматизм и профессиональные заболевания».

Намеченное планом развития народного хозяйства СССР на 1959—1965 гг. дальнейшее увеличение добычи угля до 609 млн. т в год приведет неизбежно к увеличению числа действующих шахт и линий угольных забоев в них, совершенствованию методов разработки месторождений при комплексной механизации всех производственных процессов, связанных с добычей угля.

В основе комплексной механизации лежит широкое внедрение электрической энергии, применение в значительных размерах дистанционного и автоматического управления электроустановками, а также вводом в эксплуатацию новых видов электрооборудования.

Для коренного улучшения условий труда шахтеров потребуются в первую очередь значительно повысить технику безопасности в шахтах. В связи с этим от горняков требуется высокая культура организации и ведения горных работ, а также эксплуатации механизмов, электроустановок и различного оборудования.

Пожары, возникающие в подземных выработках или на поверхности шахт около входа в них, создают опасность для людей, работающих в шахте, и являются причиной огромных материальных убытков народному хозяйству.

При этом уместно заметить, что самого различного рода шахтные аварии, в том числе и пожары, возникают обычно в результате нарушения требований правил безопасности в угольных и сланцевых шахтах.

В результате работ, выполненных в течение прошедших пятнадцати лет отечественными и зарубежными исследователями, а

также практической работы шахт и ВГСЧ по борьбе с пожарной опасностью сложились представления о современной пожарной опасности в угольных шахтах, разработаны нормы противопожарной защиты шахт, значительно усовершенствованы способы и средства предупреждения и ликвидации подземных пожаров.

В настоящей работе на основании обобщения и анализа производственного опыта шахт и ВГСЧ, а также выполненных исследований в области борьбы с пожарной опасностью, излагаются конкретные предложения по совершенствованию средств и способов борьбы с пожарной опасностью в угольных шахтах.

Автор выражает благодарность профессорам Веселовскому В. С. и Недину В. В., доцентам Бейлину Л. Д. и Милетищу А. Ф., кандидатам технических наук Маевской В. М., Виноградовой Л. П., горным инженерам Люеву А. И., Воронову Н. Т. и Хаещу М. М. за их ценные замечания по рукописи, которые были учтены автором при подготовке ее к печати.

ПОЖАРНАЯ ОПАСНОСТЬ В УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ

ВВЕДЕНИЕ

Пожары, которые возникают и развиваются в горных выработках или на поверхности около входа в них, при ограниченном притоке воздуха делают шахтную атмосферу непригодной для людей, находящихся в шахте.

Из практики горной промышленности известны многочисленные случаи пожаров, которые при своем развитии послужили причиной многих человеческих жертв и огромных материальных убытков.

По состоянию на 1 января 1963 г. только на шахтах треста Прокопьевскуголь законсервировано: а) в контурах действующих подземных пожаров около 2 млн. т ценного подготовленного к выемке угля; б) под действующими пожарами на нижележащих горизонтах в пластах выше 2,5 млн. т коксующегося угля.

В выработках шахт, где выделяется метан или образуется взрывчатая концентрация угольной пыли, пожары могут служить импульсом для воспламенения таковых.

Гибель людей при подземных пожарах происходила главным образом во время пожаров, причиной возникновения которых служили внешние тепловые импульсы. При эндогенных пожарах смертельные случаи происходят значительно реже вследствие того, что процесс зарождения и развития очага горения протекает медленно и прежде чем пожарные газы достигнут опасной концентрации, очаги самовозгорания удастся обнаружить и своевременно удалить людей из опасных выработок. Экзогенные пожары развиваются, как правило, значительно быстрее и опасная концентрация продуктов горения наступает сравнительно в короткий срок и на значительном протяжении выработок.

Имеющиеся данные об убытках от некоторых крупных пожаров позволили установить, что на этих шахтах средняя стоимость 1 т добываемого угля в течение одного года возрастает на 0,5—4,5 руб.

Для суждения о пожарной опасности в угольных шахтах под руководством автора собран и проанализирован статистический материал по подземным пожарам, возникшим в угольной промышленности СССР в течение 1946—1962 гг.

Таблица 1

Год	Отношение количества пожаров к 1 млн. т добытого в СССР угля для			
	общего количества пожаров	эндогенных пожаров	экзогенных пожаров	пожаров от неисправностей в электрических сетях
1951	1,99	0,79	1,20	0,88
1952	1,69	0,83	0,86	0,59
1953	1,84	0,94	0,90	0,49
1954	1,78	0,96	0,82	0,47
1955	1,74	0,88	0,86	0,50
1956	1,91	1,04	0,87	0,51
1957	1,63	0,82	0,81	0,52
1958	1,70	0,85	0,85	0,58
1959	1,98	0,945	1,05	0,62
1960	1,96	1,02	0,96	0,55
1961	1,77	0,9	0,87	0,50

Таблица 2

Угольные бассейны и месторождения	Отношение количества пожаров к 1 млн. т добытого угля по годам для							
	экзогенных пожаров				эндогенных пожаров		пожаров всех видов	
	общее количество		в электрических сетях					
	1956 г.	1957 г.	1956 г.	1957 г.	1956 г.	1957 г.	1956 г.	1957 г.
Донбасс	0,97	1,05	0,49	0,62	0,6	0,43	1,57	1,48
Донецкая область . .	0,85	1,04	0,54	0,56	0,77	0,49	1,62	1,53
Луганская область . .	1,19	1,02	0,51	0,6	0,58	0,52	1,77	1,53
Ростовская область . .	0,99	1,09	0,54	0,8	0,15	—	1,14	1,09
Подмосковный	0,52	0,61	0,40	0,45	0,74	0,8	1,26	1,41
Кузнецкий	0,69	0,61	0,39	0,37	0,77	0,58	1,46	1,19
Печорский	1,88	0,74	0,85	0,43	0,07	—	1,95	0,74
Кизеловский	3,96	3,1	2,82	2,33	0,34	0,34	4,30	3,44
Урал (без Кизеловского бассейна)	0,35	0,44	0,25	0,38	0,93	1,39	1,28	1,83
Карагандинский	0,29	0,58	0,29	0,21	0,10	0,33	0,39	0,91
Месторождения Средней Азии	0,88	1,13	0,47	0,85	19,0	16,03	19,88	17,16
Месторождения Восточной Сибири	0,93	0,35	0,82	0,25	1,11	0,45	2,04	0,8
Месторождения Дальнего Востока	0,59	0,63	0,30	0,49	2,74	1,81	3,33	2,44
Месторождения Сахалина	—	0,79	—	0,79	2,8	0,26	2,8	1,06
Все бассейны и месторождения СССР	0,87	0,81	0,51	0,52	1,04	0,82	1,91	1,63

Количество пожаров (общее, по видам и группам), которое приходится на 1 млн. т угля, добытого в СССР в течение года, приведено в табл. 1.

Из данных таблицы следует, что по всем угольным месторождениям СССР в течение 1951—1961 гг. на 1 млн. т добытого угля приходилось от 1,99 до 1,63 всех видов пожаров.

Отношение количества пожаров к добытому в течение года углю по месторождениям СССР показано в табл. 2.

За последние 2—3 года в результате принятых предприятиями мер по улучшению ведения подземного хозяйства и проведению профилактики наметились тенденции к значительному снижению подземных пожаров.

Глава I

ВОЗНИКНОВЕНИЕ И РАЗВИТИЕ ПОЖАРОВ В ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ

§ 1. ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ВОЗНИКНОВЕНИЕ И РАЗВИТИЕ ПОЖАРОВ

Возникновение и развитие пожаров в горных выработках обусловлено следующими факторами: а) атмосферой, способной поддерживать горение; б) наличием горючих материалов; в) интенсивным источником тепла — тепловым импульсом.

При отсутствии хотя бы одного из этих трех факторов горение не может возникнуть и развиваться.

В выработках угольных шахт нормальная атмосфера пригодна для поддержания горения, а горючие газы, угольная пыль, деревянная крепь, уголь, углесодержащие породы, резиновые массы и др. являются горючими материалами.

Третий фактор — источник тепла (тепловой импульс), способный воспламенить горючие материалы, в нормальных условиях шахты исключается. Возникает он только при работе шахты или отдельных участков или выработок шахты с отклонениями от установленных норм. Режимы, которые принципиально не допускают возникновения опасных тепловых импульсов, регламентируются главным образом действующими Правилами безопасности для угольных и сланцевых шахт и Едиными правилами безопасности при ведении взрывных работ.

На возникновение и развитие горения при наличии всех трех определяющих факторов существенное влияние оказывает продолжительность действия теплового импульса — фактор времени.

Таким образом, в условиях современных шахт, в которых атмосфера способна поддерживать горение и где всегда имеются горючие материалы, решающее значение на возникновение и разви-

тие пожара оказывают тепловой импульс (опасной мощности) и продолжительность его действия.

Проявление различных форм тепловых импульсов в горных выработках определяется следующими основными факторами: культурой ведения горных работ и эксплуатации механизмов и оборудования; химическим составом и физическими свойствами полезного ископаемого; условиями, которые складываются в результате разработки месторождения (горнотехнические факторы); механизацией процессов добычи и подземного транспорта; видом применяемой энергии; видами применяемого оборудования и аппаратуры.

§ 2. ФОРМЫ ОПАСНЫХ ТЕПЛОВЫХ ИМПУЛЬСОВ В ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ

Уровень организации и механизации процессов добычи угля в значительной мере определяют преобладающие формы возможных тепловых импульсов.

Так, при слаборазвитой механизации процессов добычи полезных ископаемых, неудовлетворительном состоянии осветительного оборудования в горных выработках главной формой теплового импульса, по причине которого возникали пожары в преобладающем количестве, являлся открытый огонь.

С развитием механизации процессов добычи полезного ископаемого, введением электрического освещения взамен (бензиновых и масляных ламп), введением электрического взрывания ВМ (вместо огневого), запрещением курения и др. количество пожаров от открытого огня уменьшалось и преобладающее число пожаров возникало от самонагревания угля, в электрических сетях, от трения, взрывных работ и др.

Такая зависимость хорошо иллюстрируется данными Горного Бюро США (1927), полученными в результате изучения фактического материала по возникновению пожаров на металлургических рудниках в одном из горных районов страны. До 1917 г. для освещения в металлургических рудниках США были широко распространены масляные, керосиновые и карбидные лампы, а также свечи. Применение электрической энергии в горных выработках находилось в зачаточном состоянии.

В период 1917—1932 гг. в этом районе происходят значительные технические изменения: прекращено пользование свечами для освещения горных выработок и введено ограничение в применении светильников с открытым пламенем, широко внедрялась электрическая энергия.

Вследствие этого в период 1917—1932 гг. количество пожаров в горных выработках металлургических рудников в США от открытого пламени уменьшилось в два раза по сравнению с 1917 г., а от электрического тока увеличилось в 10 раз. Кроме того, за последний период времени появились новые формы теплового импульса — пайка и сварка металлов.

В горных выработках современных шахт опасные тепловые импульсы могут образовываться от принципиально различных импульсов тепла.

Они могут возникать в результате самонагрева материалов (уголь, углесодержащие породы, древесина и др.), которые возникают вследствие окислительных процессов, происходящих в этих материалах, и их пассивного теплообмена с окружающей средой, а также при нарушенном режиме эксплуатации электроустановок, механизмов (электрические искры и дуги, теплота трения) и при нарушении регламентированных требований по выполнению производственных процессов (взрывные, сварочные работы и др.).

Все эти тепловые импульсы становятся пожароопасными при достижении ими тепловой мощности, достаточной для воспламенения горючих материалов. Теплота импульсов расходуется на теплообмен с атмосферой и окружающими предметами, а частично аккумулируется горючими материалами. Аккумулированная теплота в материале, в свою очередь, обеспечивает повышение температуры в месте воздействия теплового импульса и на выравнивание температур в продольном и поперечном направлениях. При достижении критической температуры в горючем материале, последний воспламеняется. Теплота, образующаяся в результате горения, расходуется на термическую подготовку соседних материалов.

Тепловые импульсы, источником образования которых послужило самонагревание материала, называют внутренними, а все остальные — внешними.

В зависимости от характера источника тепла, который привел к воспламенению горючих материалов, различают два основных вида пожаров в горных выработках: эндогенные пожары, возникающие от самонагрева, и экзогенные пожары, которые возникают от внешних тепловых импульсов.

В угольных шахтах наиболее опасными в отношении самовозгорания являются уголь, углистые породы.

Древесина после нагревания ее до 130—150° также начинает самонагреваться и при соответствующих условиях теплообмена может самовозгораться. Поэтому она относится к группе самовозгорающихся веществ. Однако в практике применения древесины в производственных помещениях (в том числе в подземных выработках) при номинальных условиях она не представляет опасности по самовозгораемости из-за отсутствия соответствующих температурных условий для накопления тепла. Опасность самонагревания скоплений древесины появляется при нагревании ее до температуры, превышающей 130°, а также при скрытых деревянных конструкциях, длительное время нагреваемых до высоких температур. В подземных выработках такие условия могут образоваться в случае, если за бетонной и железобетонной крепью будут оставлены значительные скопления древесины (опалубка, костры

и др.). Такие скопления древесины могут быть доведены до самовозгорания длительным ее прогреванием через слой крепи движущимися по этой выработке пожарными газами или, например, теплом, образующимся в электромашинных камерах при эксплуатации машин и электрооборудования.

При температурах 230—270 °С в древесине происходит образование древесного угля, который состоит из углерода, водорода и кислорода. В первый период получения такого угля он способен поглощать газы и окисляться с выделением тепла. Эта способность угля к абсорбции сохраняется продолжительное время даже после охлаждения его без доступа к нему воздуха.

Из литературных данных известны случаи, когда в куче древесного угля высотой 2 м температура достигала на третий день 32°, через неделю 65°, а на тринадцатый день уголь самовозгорался.

В подземных условиях при одинаковой склонности углей к окислению самовозгораемость его на различных участках шахты может быть различной. Факторы, которые стимулируют пожароопасность в подземных выработках, подвергаются тщательному изучению.

На основании этих данных составляются практические мероприятия. Из практики угольной промышленности известны единичные случаи самовоспламенения древесины за железобетонной крепью.

На гор. 620 м в околоствольных выработках шахты «Комсомолец» треста Горловскуголь (Донбасс) в феврале 1958 г. за бетонной крепью выработок около вентиляционного ствола было оставлено много древесины в виде опалубки крепи и костров, сложенных для предупреждения обвала пород. Бетонная крепь умформенной камеры и ходка длительное время находилась под воздействием тепла, образующегося при работе электрической аппаратуры. Кроме того, в ходке, в котором была размещена электрическая аппаратура, в результате короткого замыкания в электрической сети воспламенились гибкие оболочки кабелей. Предполагается, что во время горения оболочек кабелей древесина, расположенная за крепью ходка, успела достаточно прогреться (до температуры выше 130°), так как по прошествии 5—6 ч после того как пожар был потушен, было обнаружено горение древесины за бетонной крепью.

Второй известный нам случай самовозгорания древесины произошел в апреле 1962 г. за бетонной крепью лебедочной камеры ходка уклона пласта l_7 гор. 140 м шахты № 12—13 треста Красногвардейскуголь.

Самовозгорание древесины, которой было заполнено пространство до 15 м высотой, образованное после обрушения пород, произошло вследствие длительного прогрева бетонного перекрытия камеры теплом, отдаваемым батареей электрического сопротивления.

§ 3. ОСНОВНЫЕ ПРИЧИНЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ПОЖАРОВ

В результате обработки и анализа статистического материала о пожарах был выявлен непрерывный рост количества пожаров, возникших в угольных шахтах СССР в течение 1946—1962 гг. (рис. 1). На графиках (рис. 1) количество пожаров за 1946 г. принято условно за 100%.

Кроме того, наиболее опасными тепловыми импульсами неизменно являлись самонагревание и токи короткого замыкания в неисправных электрических сетях.

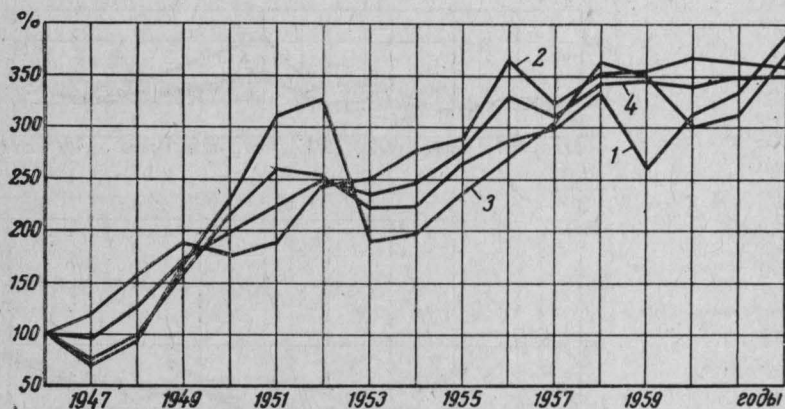


Рис. 1. Изменение количества пожаров в угольных шахтах СССР:

1 — пожары от внешних причин, 2 — от самовозгорания, 3 — от электрического тока, 4 — всего пожаров

Изменение количества подземных пожаров, возникших в течение 1953—1962 гг. в некоторых угольных районах страны, отражено на графиках (рис. 2). На этих графиках количество пожаров за 1953 г. принято за 100%.

Доля экзогенных и эндогенных пожаров в общем количестве пожаров, возникших за период 1953—1962 гг., приведена в табл. 3.

Из данных таблицы видно: 1) в шахтах Печорского, Кизеловского и Карагандинского бассейнов, а также Ростовской, Луганской и Донецкой областей преобладающее количество пожаров возникло от внешних тепловых импульсов (от 66,1 до 97,3%); 2) в шахтах Подмосковского и Кузнецкого бассейнов экзогенные и эндогенные пожары возникали в одинаковых количествах; 3) в остальных угольных месторождениях подавляющее количество пожаров возникало от самонагревания углей и углистых пород (от 61,8 до 92,9%).

По некоторым угольным месторождениям среднегодовой рост возникновения всех видов пожаров с 1953 по 1962 г. по сравнению с периодом 1946—1952 гг. составлял, %: по всем угольным месторождениям СССР 190, Донецкому бассейну 160, Донецкой обла-

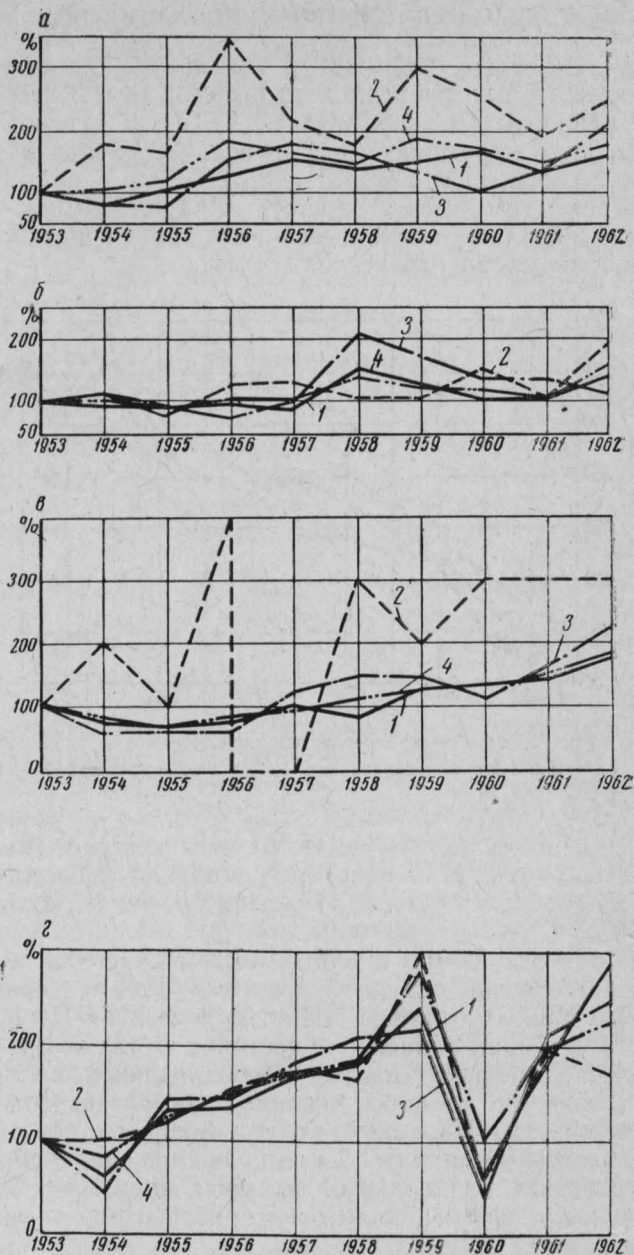
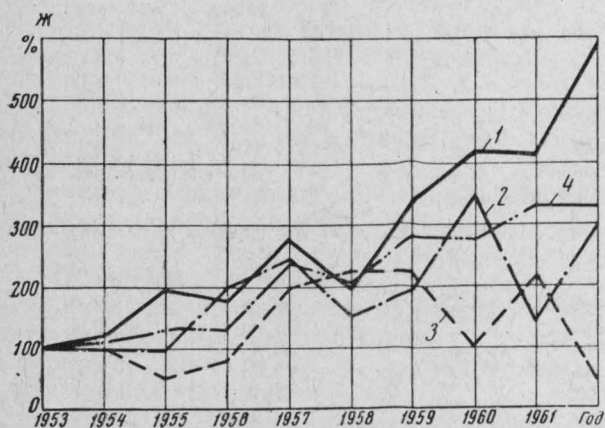
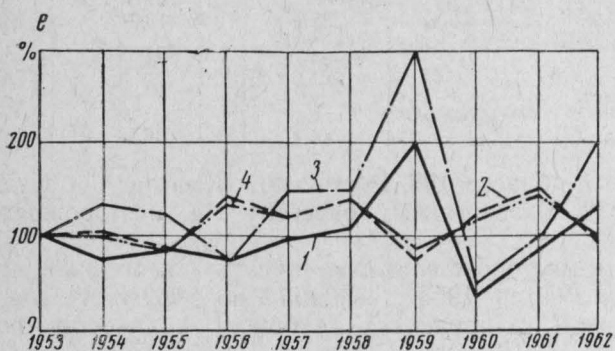
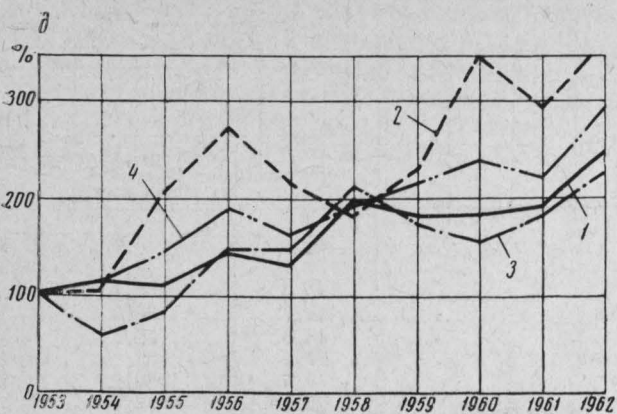


Рис. 2. Изменение количества
a — Донецкая область, *б* — Луганская область, *в* — Рос-
 нецкий бассейн, *г* — Средняя Азия, *жс* — Караганда.



пожаров в угольных шахтах:

товская область, е — Подмосковский бассейн, д — Кузнецкие позиции те же, что и на рис. 1

Угольные месторождения и бассейны	Количество пожаров, %, возникших в течение 1953—1962 гг.		
	от внешних тепловых импульсов		от самона- гревания
	всего	от токов короткого замыкания в электросетях	
Донецкая область	66,1	36,2	33,9
Луганская область	72,1	48,9	27,2
Ростовская область	95,0	63,4	5,0
Подмосковный бассейн	49,7	36,3	50,3
Кузнецкий бассейн	48,8	26,6	51,2
Карагандинский бассейн	74,4	33,9	25,6
Кизеловский бассейн	79,5	59,2	20,5
Бассейны Урала (без Кизеловского)	22,6	15,7	77,3
Месторождения Средней Азии	7,1	5,0	92,9
Месторождения Восточной Сибири	38,2	31,1	61,8
Месторождения Сахалина	22,1	12,0	76,9
Месторождения Дальнего Востока (без Сахалина)	26,6	19,4	73,4
Печорский бассейн	97,3	49,3	2,7
Все угольные бассейны и месторождения СССР	50,4	31,9	49,6

сти 139, Луганской области 198, Ростовской области 171, Кузнецкому бассейну 332, Кизеловскому бассейну 218, месторождениям Средней Азии 340.

По отдельным месторождениям количество экзогенных пожаров за периоды с 1946 по 1953 г. и с 1953 по 1962 г. изменилось следующим образом (в процентах к общему количеству пожаров):

	1946—1952 гг.	1953—1962 гг.
По всем месторождениям СССР	51 (36,6)*	50,1 (30,1)
Донецкий бассейн	76,5 (53,5)	71,6 (41,2)
Донецкая область	70 (41,5)	64,0 (32,7)
Луганская область	77,8 (66,3)	71,0 (42,1)
Ростовская область	96,3 (64,0)	94,4 (62,3)
Кузнецкий бассейн	24,7 (19)	53,8 (31,6)
Кизеловский бассейн	51,5 (34,5)	88,3 (67,0)
Месторождения Средней Азии	6,9 (4,3)	7,0 (5,1)

Количество эндогенных пожаров, %, за те же периоды изменилось следующим образом:

	1946—1952 гг.	1953—1962 гг.
По всем месторождениям СССР	49	49,9
Донецкий бассейн	23,5	28,4
Донецкая область	30,0	36,0
Луганская область	22,2	29,0
Ростовская область	3,7	5,6
Кузнецкий бассейн	75,3	46,2
Кизеловский бассейн	48,5	11,7
Месторождения Средней Азии	93,1	93,0

* Пожары от электрического тока.

Сравнивая эти данные, убеждаемся, что в исследуемые периоды времени только по отдельным месторождениям и бассейнам относительные количества возникших пожаров получили заметные изменения. В Донецком бассейне уменьшилось количество пожаров от электрического тока и значительно возросло количество пожаров от самонагрева углей — главным образом в Лисичанском и Центральном (Горловском) районах, что составляет 76,5

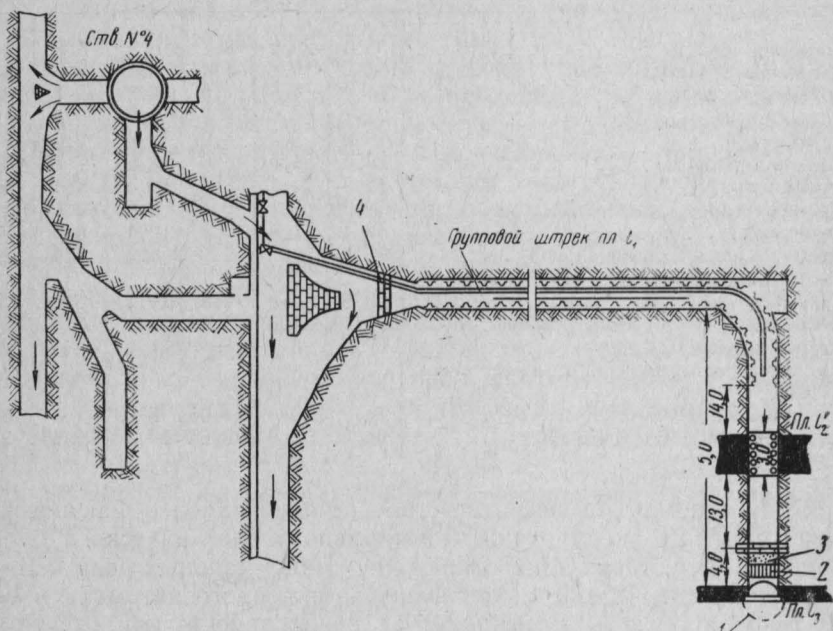


Рис. 3. Схема изоляции выработок в шахте «Комсомолец», где возник пожар от самовозгорания угля

и 65,1% всех пожаров. В Кузнецком и Кизеловском бассейнах резко увеличилось количество экзогенных и уменьшилась частота эндогенных пожаров.

Причины возникновения экзогенных пожаров в исследуемый период времени представлены в табл. 4.

Данные этой таблицы свидетельствуют о том, что наиболее распространенными причинами возникновения экзогенных пожаров служили неисправные электрические сети. Пожары по этой причине в отдельных месторождениях составляли в общей сумме экзогенных пожаров от 28 (Карагандинский бассейн) до 80,1% (месторождения Восточной Сибири).

Основными причинами пожаров в электрических сетях, которые возникли главным образом из-за невыполнения требований Правил технической эксплуатации электрооборудования и кабельных сетей и Правил безопасности в угольных и сланцевых

Таблица 4

Угольные бассейны и месторождения	Количество экзогенных пожаров, %, в 1953—1962 гг.					
	от электрического тока	от взрывных работ	от трения	от открытого огня	от сварочных работ	от неустановленных причин
Донецкая область	55,4	20,2	8,2	6,3	5,8	4,1
Луганская область	66,2	10,8	5,4	6,4	7,3	3,9
Ростовская область	74,4	4,6	7,6	4,8	5,1	3,5
Подмосковный	75,4	4,0	8,3	4,7	5,8	1,8
Кизеловский	79,0	5,9	6,9	2,8	2,6	2,8
Карагандинский	28,0	23,8	5,6	28,6	7,7	6,3
Кузнецкий	54,9	14,1	8,7	12,3	4,4	5,6
Месторождения Дальнего Востока	68,3	5,1	6,3	8,9	10,1	1,3
Печорский	53,4	11,8	11,1	10,4	5,6	7,7
Месторождения Средней Азии	79,0	—	4,9	6,2	7,4	2,5
Месторождения Урала (без Кизеловского бассейна)	68,6	3,8	4,4	14,4	8,2	0,6
Месторождения Восточной Сибири	80,1	1,3	5,1	5,1	5,8	2,6
Месторождения Сахалина	59,5	8,1	8,1	21,6	—	2,7
По всем месторождениям и бассейнам СССР:						
в течение 1946—1952 гг.	74,5	10,0	4,0	6,20	1,8	3,5
в течение 1953—1962 гг.	68,7	5,0	6,65	10,0	6,65	3,0

шахтах, явились: 1) несоответствие сечения кабелей фактическим нагрузкам; 2) эксплуатация неисправного электрического оборудования; 3) уставки тока отключения максимальных реле и плавкие вставки не обеспечивают защиты фидерного автомата и сети от токов короткого замыкания; 4) неисправность или отсутствие в сети реле утечек; 5) недостаточность защиты подземных сетей постоянного тока от токов короткого замыкания; 6) неплотность контактов в электрических сетях.

Несмотря на то что в подземных выработках электрические сети переменного тока имеют значительно большее распространение, чем сети постоянного тока, количество пожаров, возникавших в электросетях постоянного тока по отдельным областям и угольным бассейнам СССР занимает существенное место (от 7,5 до 35,6%) в общем количестве пожаров, возникавших в неисправных электрических сетях.

Удельное значение количества пожаров в неисправных электрических сетях постоянного тока в общем количестве возникших пожаров в электрических сетях (переменного и постоянного токов) за период 1957—1962 гг. составляет, %: по Донецкой области 19,9; Луганской 26,6; Ростовской 35,6; Подмосковному бассейну 11,3; Кузнецкому 10,3; Карагандинскому 10,7; Кизеловскому 19,6; Печорскому 17,1; месторождению Дальнего Востока 32,0; Восточной Сибири 6,4; Средней Азии 7,5.

В среднем по всем угольным месторождениям и бассейнам СССР эта величина составляет 19,3%.

Значительно меньше исследован вопрос предупреждения воспламенения оболочек электрических кабелей в сетях постоянного тока. Основные затруднения при организации защиты от короткого замыкания в электрических сетях постоянного тока заключаются в том, что в литературе по горной электротехнике совершенно отсутствует описание метода подсчета величины тока короткого замыкания в сети постоянного тока.

В практике тушения пожаров от электрического тока в подземных выработках известны многочисленные случаи, когда распространение горения от электрических дуг на горючие материалы предотвращалось выключением электроэнергии вручную. За период с 1953 по 1962 гг. при помощи такого отключения электроэнергии от поврежденного участка в подземных выработках шахт Советского Союза прекращено распространение горения в 17,7% возникших пожаров от внешних тепловых импульсов, или 29,4% возникших пожаров в неисправных электрических сетях.

По отдельным угольным месторождениям СССР относительные показатели прекращения горения (пожаров) в подземных выработках при помощи отключения вручную электроэнергии значительно выше: в Кузбассе 51,7% (от числа возникших пожаров от электрического тока), в Воркуте 19,2, в Подмосковном бассейне 27,1%, в Луганской области 31%.

Значительно меньшую опасность (по количеству возникших пожаров) представляют: открытый огонь (от 2,8 до 28,6%), взрывные работы (от 1,3 до 23,8%), различного рода трения (от 4,4 до 11,1%), сварочные работы (от 2,6 до 10,1%).

Серьезную пожарную опасность в шахтах угольных месторождений СССР представляют тепловые импульсы от трения, главным образом на ленточных конвейерных установках.

Пожары от трения на ленточных конвейерах, так же как и от трения подъемных канатов о шпалы и крепь горных выработок, немногочисленны, но они имеют ярко выраженную тенденцию к росту.

В течение 1955—1962 гг. в угольной промышленности СССР по этой причине возникло 108 пожаров, частота которых по годам составляла: 1955—3; 1956—6; 1957—8; 1958—13; 1959—14; 1960—15; 1961—17; 1962—32.

Учитывая, что в СССР внедрение ленточных конвейерных установок в подземный транспорт, согласно плану развития народного хозяйства, будет значительно расширено, а также и то, что в зарубежной практике, где они имеют более широкое внедрение, пожары на ленточных конвейерах являются одной из главных причин возникновения экзогенных пожаров, следует признать, что пожарная опасность на ленточных конвейерах будет расти.

В Правилах безопасности в угольных и сланцевых шахтах, а



также в специальной инструкции (приложение к ПБ) предусмотрены достаточно полные и четкие требования в области безопасного ведения сварочных работ в шахтах.

Однако из-за невыполнения этих требований в шахтах Донецкого, Кузнецкого и Карагандинского бассейнов нередко возникают пожары в наиболее ответственных узлах шахт (стволы, околоствольные дворы, квершлаг и др.). В качестве примеров этому можно привести следующие пожары.

5 мая 1962 г. в главном стволе шахты «Артем Северный» треста Шахтантрацит при ведении электросварочных работ загорелась крепь, что вызвало длительный простой шахты с потерей добычи. 25 мая 1962 г. при ведении электросварочных работ на нулевой площадке ствола № 4 шахты № 4—5 «Никитовка» треста Горловскуголь раскаленные электроды падали в ствол и вызвали в нем пожар. 14 августа 1962 г. при производстве газосварочных работ на копре ствола № 20 шахты № 19/20 треста Гуковуголь загорелась деревянная рама, перекрывавшая устье ствола.

Воспламенение горючих материалов при прохождении сжатого воздуха через неплотные воздухопроводы происходит редко, однако оно может привести к тяжелым последствиям.

Сжатый воздух, прорываясь наружу через неплотности резинового шланга и мест соединения металлических воздухопроводов, нагревает их до температуры воспламенения резиновой массы. К неплотностям резинового шланга относятся проколы или прорывы и места неплотных присоединений резинового шланга к металлическому воздухопроводу, а также неплотное (негерметичное) соединение на стыках фланцевых труб. Прохождение сжатого воздуха через такие неплотности вызывает нагревание материалов.

Такое нагревание иногда приводит к воспламенению резиновых шлангов и резиновых прокладок на соединениях металлических труб. Известны случаи, когда при нагревании и воспламенении резины воспламенялась угольная пыль и другие горючие материалы.

Воспламенению резины предшествует обычно запах продуктов разложения резины, затем через небольшие неплотности вместе с воздухом выбрасываются искры. Отдельные искры, представляющие собой горящие частицы резины, после оседания на стенки и почву выработки продолжают некоторое время гореть. Наличие масла в воздушной магистрали, вероятно, облегчает воспламенение резины.

Замечено, что при больших неплотностях в воздухопроводах и в местах соединения металлических труб резина не воспламеняется, что можно объяснить охлаждающим эффектом расширяющегося сжатого воздуха. При небольших же неплотностях вследствие пассивного теплообмена теплота, возникающая в результате трения воздуха о резину, аккумулируется. Воспламенение во всех таких случаях начиналось вблизи наружных краев.

Английским исследователям Джонсу и другим в научно-исследовательской станции департамента по рудничной безопасности в Бакстоне удалось в лабораторной обстановке получить воспламенение резины в месте небрежно наложенной заплаты и в месте прорыва шланга или свежезаклеенной пробоины.

Прорезиненная прокладка, изготовленная из конвейерной ленты и слабо зажата между двумя фланцами, сильно вибрировала при давлении свыше 2,5 ат и в течение полминуты обуглилась, а затем начала искрить. Вскоре в прокладке образовалась прожженная дыра.

Воспламенение в соединениях воздухопроводов происходит преимущественно при неплотном присоединении резинового шланга к переходным патрубкам.

В местах стыковых соединений металлических труб небольшие неплотности служат также причиной воспламенения прокладки, если в нарушение Правил безопасности поставлена резиновая прокладка (вместо паранитовой или пластмассовой).

В начальный момент воспламенения резины горение прекращается отключением сжатого воздуха в неисправную часть магистрали. Вследствие того, что пожары этого типа ликвидируются преимущественно в самом начале их возникновения, то они в редких случаях подвергаются учету и регистрации.

Немногочисленные случаи воспламенения горючих материалов в магистралях сжатого воздуха имели место в угольных шахтах СССР, главным образом в выработках шахт Центрального района Донецкого бассейна.

Это свидетельствует о том, что при неправильной эксплуатации пневматической энергии могут также возникнуть подземные пожары.

Основными причинами возникновения эндогенных пожаров являются:

а) применение сплошной системы разработки пластов угля, склонных к самовозгоранию, с оставлением целиков угля и без отработки на передний промежуточный квершлаг;

б) применение слоевых и камерных систем разработки с обрушением;

в) оставление отбитого угля в выработанном пространстве лав, в полостях обрушения в надштрековых целиках, в погашенных выработках и т. п.;

г) оставление целиков угля в выработанном пространстве лав без изоляций или профилактической обработки их антипирогенными;

д) некачественная и несвоевременная изоляция отработанных участков и временно оставляемых выработок;

е) слабый контроль за состоянием перемычек, изолирующих отработанные участки пластов, опасных по самовозгоранию;

ж) забучивание пустот углем и породой;

з) отсутствие или недостаточная эффективность мероприятий

по предупреждению самовозгорания угля в местах геологических нарушений;

и) оставление целиков меньших размеров, чем это предусматривается паспортом.

§ 4. ВЛИЯНИЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА САМОВОЗГОРАЕМОСТЬ УГЛЕЙ

Влияние метеорологических условий на самовозгораемость углей и пород (пожароопасность) нами было исследовано на статистическом материале, характеризующем возникновение эндогенных пожаров в течение 1946—1962 гг.

Количественные данные статистики были подготовлены для анализа по методу средней скользящей зависимости. Исходя из того, что метеорологические условия сохраняются в какой-то мере одинаковыми на протяжении определенной части года, подготовка этого материала произведена применительно к временам года.

Таблица 5

Бассейн, месторождение	Средняя удельная частота $\eta_{\text{ср}}$, % эндогенных пожаров по временам года за 1946—1962 гг.			
	весна	лето	осень	зима
Донецкий	$23,8 \pm 5$	$23,2 \pm 4$	$29,2 \pm 5$	26 ± 5
Кузнецкий	$30 \pm 5,5$	$25,5 \pm 4,7$	$18,9 \pm 2,5$	$27,9 \pm 3$
Месторождения Средней Азии	$21 \pm 2,6$	$23,2 \pm 2$	$18,1 \pm 2$	23 ± 4
Все угольные месторождения СССР	$26 \pm 2,7$	$23 \pm 2,5$	$24 \pm 2,6$	$27 \pm 2,4$

Изменение средней удельной частоты эндогенных пожаров $\eta_{\text{ср}}$ по временам года всего за период с 1946 по 1962 гг. наиболее четко выражено для Кузнецкого бассейна.

Средняя удельная частота $\eta_{\text{ср}}$ эндогенных пожаров в Кузбассе изменилась по временам года в следующей последовательности: зимой $\eta_{\text{ср}} = 27,9 \pm 3$, весной $30 \pm 5,5$, осенью $18,9 \pm 2,5$ и летом $25,5 \pm 4,7$.

Рост пожарной опасности в угольных шахтах в течение исследуемого периода может быть объяснен главным образом тем, что не всегда мероприятия, предусмотренные действующими Правилами безопасности и приложенными к ним инструкциями, выполнялись с безукоризненной точностью.

§ 5. ГОРЮЧИЕ ВЕЩЕСТВА В ВЫРАБОТКАХ ШАХТ И МЕСТА ВОЗНИКНОВЕНИЯ ПОЖАРОВ

Наиболее распространенными горючими веществами в выработках угольных шахт являются угольная пыль, метан, уголь, древесина, прорезиненные ткани, резиновые смеси, масло трансформаторное, масло индустриальное 20 и др.

В атмосферу подземных выработок метан попадает вследствие выделения смеси газов из угля и боковых пород. В такой смеси газов содержание метана доходит до 80—90%, содержание углекислого газа не превышает 5%, азота — от незначительного количества до 20%, а содержание примеси водорода и гомологов метана не превышает 4%.

В редких случаях (при изоляции подземных пожаров и др.) в атмосфере выработок могут появиться такие горючие газы, как окись углерода, водород и гомологи метана.

Несмотря на широкое внедрение металлической и железобетонной крепи в выработках шахт, количество применяемой деревянной крепи еще велико.

Деревянная крепь в угольных шахтах представляет наибольшую пожарную опасность, так как является наиболее распространенным горючим материалом в горных выработках.

Резиновые смеси встречаются в шланговых оболочках гибких кабелей, в изоляции жил электрических кабелей, в резиновой обкладке тканевой прорезиненной ленты, а также в шлангах, питающих отбойные и бурильные аппараты сжатым воздухом.

Прорезиненные ткани применяются для изготовления вентиляционных труб и для каркаса конвейерных лент.

Трансформаторным маслом заполняются трансформаторы, высоковольтные распределительные устройства, реостаты и др.

Масло промышленное 20 в подземных выработках применяется как рабочая жидкость, которой заполняются гидросистемы гидрофицированных машин: индивидуальных гидравлических стоек органной крепи ВОК (конструкция Донгипроуглемаша) и комплектов передвижной крепи А-2, разработанной в Государственном проектно-конструкторском и экспериментальном институте угольного машиностроения (Москва), а также в машинах с гидравлическими редукторами.

Основными объектами горения при экзогенных пожарах как по отдельным месторождениям, так и в целом по всем месторождениям СССР, являлись электрические кабели (55,9% в 1946—1952 гг. и 52,7% в 1953—1962 гг.), древесина (18,2% в 1946—1952 гг. и 20,7% в 1953—1962 гг.) и метан (соответственно 13,9 и 10,6%).

Экзогенные пожары могут возникнуть (при появлении теплового импульса) в любом месте шахты, где имеются горючие материалы и нормальная концентрация кислорода в атмосфере. Согласно результатам анализа данных статистики, эндогенные пожары возникли в выработанных пространствах, выработках, заполненных измельченным углем, и предохранительных целиках, оставляемых для поддержания кровли выработок, а также в изолированных тупиковых выработках.

В течение 1953—1962 гг. самовозгорание угля и пород во всех угольных месторождениях СССР (табл. 6) в выработанных про-

Таблица 6

Бассейн, область	Количество пожаров, возникших от самовозгорания в период 1953—1962 гг., %											
	в выработан- ном простран- стве	в целиках угля, в выработках								Всего		
		штреков	уклонов	бремсбер- гов	квершлаг- гов	около- ствольных выработок	шурфов	скатов	сбоек		гезенков	
Донбасс	55,7	32,7	1,5	0,2	1,4	3,1	1,9	0,5	1,9	1,0	44,3	
в том числе:												
Донецкая область . .	59,9	29,3	1,8	—	0,9	3,0	2,1	0,6	1,2	1,2	40,1	
Луганская область . .	49,4	38,6	1,3	0,4	2,2	3,1	0,5	0,4	3,1	0,9	50,6	
Ростовская область . .	57,9	21,0	—	—	—	5,3	15,8	—	—	—	42,1	
Подмосковный бассейн	46,5	46,1	—	—	—	1,1	—	—	6,3	—	53,1	
Кузбасс	71,8	12,7	1,4	1,1	11,3	0,3	1,4	—	—	—	28,2	
Карагандинский бассейн	64,8	21,7	2,7	—	2,7	—	5,4	—	2,7	—	35,2	
Месторождения Средней Азии	42,9	41,2	7,1	1,4	1,1	1,2	—	1,3	2,3	0,5	57,1	
Бассейны Урала (без Ки- зельовского)	59,0	32,0	0,9	0,6	2,3	1,8	0,6	1,4	0,3	1,1	41,0	
Кизельовский бассейн . .	75,5	11,1	4,5	—	—	2,2	—	6,6	—	—	24,5	
Месторождения Дальнего Востока (без Сахалина)	38,4	25,1	13,3	10,0	1,5	2,6	—	1,8	6,6	0,7	61,6	
Месторождения Восточ- ной Сибири	48,5	33,5	3,7	6,8	—	4,4	2,5	—	—	0,6	51,5	
Месторождения Грузин- ской ССР	100,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Сахалинское месторожде- ние	72,0	21,4	—	1,3	2,7	1,3	—	1,3	—	—	28,0	
Итого по всем месторож- дениям и бассейнам СССР	52,8	32,4	4,0	1,9	2,5	1,9	0,8	0,9	2,2	0,6	47,2	

странствах составило 52,8%, а в целиках угля выработок 47,2% (в том числе в целиках угля штреков 32,4%).

По нашим данным, в тресте Горловскуголь эндогенные пожа-
ры, возникшие у мест с геологическими нарушениями, составили
от 52 до 76% (1955 г. — 74%, 1956 г. — 52%, 1957 г. — 76%), а в
Лисичанскугле — от 14 до 29% (1955 г. — 29%, 1956 г. — 14%).

В местах тектонических нарушений резко меняются физиче-
ские свойства угля. Уголь становится мягким, рыхлым, переме-
тым, теряет блеск, более склонен к механическому вымыванию
водой, проникающей по трещинам боковых пород, хорошо увлаж-
няется. Такой массив угля пронизывается трещинами, которые
частично заполнены мелким углем и пылью.

Химические свойства угля при этом также резко изменяются,
в результате чего он в местах тектонических нарушений стано-
вится более склонным к окислению и самонагреванию.

В местах геологических нарушений уголь, который при нор-
мальном залегании неопасен по своей склонности к самовозгора-
нию, может быть опасным и даже особоопасным. В практике

угольной промышленности известны многочисленные случаи самовозгорания угля у мест геологических нарушений пластов малоопасных или совсем неопасных по самовозгоранию.

В печах, пройденных в целике угля пласта l_2 с откаточного штрека шахты № 7 им. Мельникова треста Лисичанскуголь (Донбасс), в течение 1957 г. произошло восемь самовозгораний угля (через 1,5—2 месяца после негерметичной изоляции печей). Такое частое самовозгорание угля объясняется тем, что целик угля, оставленный над откаточным штреком, имел геологические (тектонические) нарушения и не подвергался профилактической обработке.

Пласт Бераль (Донбасс, шахта «Ильич») относится к углям несамовозгорающимся, однако у мест с геологическими нарушениями зарегистрированы случаи самовозгорания угля этого пласта.

На поверхности обнаженной части пласта Мазурка (Донбасс, шахта № 1/3 «Кочегарка») в 1958 г. в 15 м от забоя откаточного штрека в целике нарушенного пласта произошло самовозгорание угля. В этом месте мощность пласта достигала 4 м вместо 1,7 м (нормальная для этого участка), а уголь был весьма хрупким.

При вскрытии пласта l_3 на шахте «Комсомолец» треста Горловскуголь произошел внезапный выброс угля и газа (рис. 3).

В связи с этим работы по подготовке панелей с пласта l_1 были прекращены, а участок изолирован перемычками. На расстоянии 2 м перед полостью 1, образованной при выбросе в пласте l_3 , была сооружена чураковая перемычка 2 и в 4 м от нее изоляционная перемычка 3 из бетонитов. Пространство между этими перемычками было заполнено глиной. Затем в групповом штреке по пласту l_1 была возведена бетонитовая перемычка 4.

Из-за недостаточной герметизации перемычек через два месяца после окончательного закрытия перемычками выработок в них самовозгорелся уголь, образовалась взрывчатая смесь газов и произошел взрыв газов в изолированном участке. Периодически взрывы повторялись и были прекращены заполнением участка углекислотой.

Значительная часть экзогенных пожаров в большинстве угольных месторождений произошла в лавах, выработках и камерах околоствольных дворов, участковых откаточных и коренных штреках и др.

Так, в течение 1953—1962 гг. наиболее часто пожары возникали в следующих выработках угольных месторождений, %:

Донецкая область: в лавах—24,2, участковых откаточных штреках—16,2, выработках и камерах околоствольных дворов—9; Луганская область: в участковых откаточных штреках—22,8; лавах—14,7; выработках и камерах околоствольных дворов—10,2; Ростовская область: в участковых откаточных штреках—31,3, коренных и сборных штреках—9,7, уклонах и их ходах—10; Подмосковский бассейн: в участковых откаточных штреках—

35, коренных сборных штреках — 16,3, выработках и камерах околоствольных дворов — 12,7, лавах — 8,4; Кузнецкий бассейн: в участковых откаточных штреках — 14,5, лавах — 11,6, выработках и камерах околоствольных дворов — 9,5; Карагандинский бассейн: в лавах — 13,3; подготовительных забоях очистных горных выработок — 11,2, участковых откаточных штреках — 9,1.

Глава II

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ВОСПЛАМЕНЕНИИ И ГОРЕНИИ ГОРЮЧИХ ГАЗОВ

§ 1. НЕКОТОРЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ И ФОРМЫ ОКИСЛЕНИЯ

Химической основой процесса горения органических веществ является окисление, при котором происходит присоединение к ним кислорода воздуха.

Горение есть сложный процесс, на течение которого наряду с химической основой вещества, решающее влияние оказывают внешние условия (температура, влажность, теплообмен и движение газов).

Для возгорания вещества необходимо, чтобы химическая реакция, которая происходит с выделением тепла, пошла с достаточной скоростью. Скорость химической реакции увеличивается с повышением температуры, а поэтому нагревание окисляющихся веществ может привести к их возгоранию.

Внешнее нагревание (внешние тепловые импульсы), которое способствует необходимому для возгорания ускорению реакции, не является единственным. Возгорание может произойти также в случае, если при окислительном процессе вещества внешние условия способствуют достаточно большой скорости аккумуляции тепла, при которой обеспечивается самоускорение реакций и становится возможным самовозгорание горючих материалов.

Самоускорение реакций происходит после достижения критической температуры, когда некоторые вещества начинают самонагреваться (для угля 70—80 °С, а для древесины 130—150 °С).

Молекулярный механизм окисления весьма сложен и недостаточно изучен. Принято считать, что газообразный кислород сначала адсорбируется углем. Физическая сорбция кислорода органическим веществом происходит при низких температурах. Этот процесс длится недолго, так как кислород вступает в химические соединения с электронами атомов углерода и водорода, из которых они состоят. Вследствие разнообразия горючих материалов, встречающихся в подземных выработках, характер образующихся при этом соединений многообразен.

Процесс окисления органических веществ зависит от начальной температуры и влажности материалов. С повышением начальной температуры процесс окисления ускоряется — изменяется его механизм и форма. Небольшие количества влаги заметно

ускоряют процессы окисления. Известно, например, что вода ускоряет процессы окисления углей при низких температурах. При полном отсутствии влаги взрывчатые смеси газов взрываются значительно труднее, чем в присутствии следов воды. Во влажном воздухе происходит интенсивное окисление железа, а в сухом воздухе окисление заканчивается образованием пленки поверхностных окислов.

В зависимости от условий окисление принимает следующие формы: низкотемпературного окисления, истлевания вследствие жизнедеятельности микроорганизмов, горения и взрыва.

В связи с тем, что окисление при таких температурах идет медленно, то теплота, выделяемая при этом, в зависимости от интенсивности теплоотдачи может либо рассеиваться, либо аккумулироваться и поэтому при окислении органических веществ самонагревание может быть или не быть.

Различают три вида температурных интервалов: низкотемпературный — ниже $60-100^{\circ}\text{C}$, среднетемпературный — от 150 до 400°C , высокотемпературный — выше $500-600^{\circ}\text{C}$.

С повышением температуры скорость химических реакций больше, чем скорость диффузии кислорода к окисляемому веществу. При высоких температурах химические реакции протекают значительно быстрее, можно сказать мгновенно, по сравнению со скоростью диффузии. При этом скорость всего окислительного процесса определяется скоростью диффузии, а не химических реакций. Горение представляет собой интенсивный окислительный процесс, протекающий с выделением тепла и света.

После воспламенения горючих материалов для дальнейшего развития горения необходимо наличие кислорода и чтобы теплота, образующаяся вследствие химических реакций, количественно превышала теплоотдачу в окружающую среду.

Если при воспламенении материала образовались горючие газы, тогда горение сопровождается пламенем, которое представляет собой стационарную систему распределения диффундирующих газов — участников горения. Пламенное горение на воздухе сопровождается непрерывным движением молекул газов: извне к центру пламени двигаются молекулы кислорода, а в обратном направлении — молекулы окисляемых веществ и продуктов горения. При горении некоторых веществ в их пламени кроме газов могут присутствовать мелкие твердые частицы, образующиеся в результате распада горючих веществ. Так как раскаленные твердые частицы излучают больше света, чем раскаленные газы, то такое пламя светится ярче, чем газовое.

Распространение фронта горения в горючих материалах, согласно тепловой теории горения Ле-Шателье и Малляра (1883 г.), объясняется передачей тепла за счет самонагревания.

Согласно молекулярно-кинетической теории, температуры, состав и скорость в газовой смеси, движущейся через зону горения, непрерывно изменяются. Навстречу идет диффузионный поток.

который уносит тепло. Диффузионный поток оказывает весьма заметное влияние, если он выносит с собой активные молекулы.

Советские ученые Н. Н. Семенов, Я. Б. Зельдович и Д. А. Франк-Каменецкий в основу тепловой теории горения положили, что химическая реакция при температуре ниже T_v идет медленно, при температуре выше T_v скорость реакции становится не бесконечно большая, как это предполагается по теории Ле-Шателье и Малляра, а развивается постепенно. Ученые Советской школы химической кинетики считают, что распределение температур и концентраций в пламени зависит от соотношения между диффузией и температуропроводностью.

В общем выражение скорости распространения пламени должны входить химико-технологические, диффузионные и тепловые величины.

Процессу горения предшествует аккумуляция тепла в веществе во время окисления при низких температурах или за счет подогревания веществ извне. Повышение температуры вещества приводит к воспламенению его. Дальнейшим развитием окислительного процесса является горение. Следовательно, горению предшествуют термическая подготовка вещества и воспламенение.

§ 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ГОРЕНИЯ ГАЗОВЫХ СМЕСЕЙ

Начало исследований процессов горения взрывчатых систем было положено еще во второй половине прошлого столетия и относилось главным образом к газовым смесям. В этот период наиболее существенные работы в области горения газовых смесей были выполнены Малляром и Ле-Шателье, Диксоном и Михельсоном, исследования которых сыграли выдающуюся роль в последующем развитии теории горения газовых смесей. Процессы воспламенения и распространения пламени в течение долгого времени изучались в отрыве от химической кинетики, что привело к созданию некоторых принципиально ошибочных теорий горения.

Существенный сдвиг в области развития теории горения газовых смесей был достигнут за последние десятилетия в связи с успехами в области химической кинетики и в частности теории цепных реакций, в значительной мере разработанной Хиншельвудом и Н. Н. Семеновым. Тепловая и цепная теории самовоспламенения газовых смесей, созданные Н. Н. Семеновым, послужили для советских ученых (Зельдович, Франк-Каменецкий, Тодес и другие) основой теоретических работ по горению, которые являются ведущими в этой области.

Газовые взрывчатые системы представляют собой преимущественно смеси горючих газов или паров с кислородом или воздухом. Такие смеси могут воспламеняться либо в результате подогрева всей смеси, либо вследствие местного ее зажигания (пламенем, электрической искрой и т. п.).

В первом случае химическая реакция протекает одновременно

во всем объеме сосуда, в котором заключен газ; во втором — пламя возникает только в месте зажигания и распространяется по всей смеси. Пламя представляет собой тонкую зону, отделяющую неореагировавшую смесь от конечных продуктов реакции, в которых химическая энергия перешла в тепловую.

Большинство гомогенных газовых реакций горения и медленного окисления весьма чувствительно к следам катализаторов как положительных, так и отрицательных (ингибиторов). Например, окисление водорода, окиси углерода и некоторые другие реакции прекращаются при тщательном удалении влаги, но при содержании ее в количестве, соответствующем давлению водяных паров 10^{-4} — 10^{-5} мм рт. ст., реакция протекает с нормальной скоростью.

Температура воспламенения смесей $\text{H}_2 + \text{O}_2$ и $\text{CO} + \text{O}_2$ заметно понижается от присутствия NO_2 в концентрации, отвечающей давлению 10^{-5} мм рт. ст., а наличие 0,01% NO_2 понижает эту температуру на 100—200 °С. Однако вследствие того, что одна молекула катализатора не может одновременно влиять на множество элементарных актов реакции, такое снижение температуры не может быть объяснено обычным катализом.

К числу других особенностей этих реакций относится замедление их стенками сосуда и вообще твердыми поверхностями. В узких трубках, где отношение площади поверхности к объему больше, реакции протекают медленнее, чем в широких, и особенно ощущается замедление реакций при заполнении реакционного сосуда из стекла, кварца, фарфора и т. д.

Окислительный процесс горючих газов, который протекает с выделением тепла и света, называется горением. В результате окисления газов только в определенных, резко ограниченных пределах давлений происходит воспламенение или взрыв. Воспламенение наступает не мгновенно, а после некоторого периода индукции, длящегося несколько секунд или минут.

Если окислительный процесс протекает весьма интенсивно и сопровождается внезапным изменением состояния вещества, которое, как правило, сопровождается ударной или взрывной волной, то такой процесс называется взрывом.

Все эти и ряд других особенностей рассматриваемой группы реакций хорошо объясняются цепным механизмом процесса, сущность которого заключается в том, что активная молекула после того как она прореагировала, передает свою активность новой молекуле и т. д. Повторение такого процесса происходит до тех пор, пока какой-либо побочный процесс не устранил очередную активную молекулу из цепи реакций. Каждая цепь реакций так или иначе обрывается. В первую очередь такой обрыв может произойти на стенках сосуда, на пылинках или других твердых поверхностях при встрече цепи с ними. Это особенно ощутимо при малых давлениях, когда цепи могут легко диффундировать в объеме. Обрыв цепи в объеме наиболее легко происходит при тройных столкновениях атомов или при двойных

столкновениях на стенках. В реакциях, протекающих при высоких давлениях, тройные соударения молекул в объеме значительно учащаются и в связи с этим вероятность обрыва цепи возрастает. Если в объем, в котором протекает реакция, добавить инертный газ, то обрыв цепи ускорится.

Замечено, что все реакции окисления протекают только в определенных для каждой из них пределах давлений. Давление, выше которого окисление и воспламенение не происходит, называется *верхним пределом*, а давление, ниже которого горение прекращается, носит название *нижнего предела*.

На нижний предел давления почти не влияют температура, состояние стенок, более значительное влияние оказывают состав смеси и форма сосуда. На верхний предел сильно влияют температура, примеси и весьма мало форма сосуда и состояние его стенок. При низких давлениях происходит разветвление цепей и их обрыв на стенке. Чем большая вероятность обрывов цепей, тем короче разветвления цепей, и реакция протекает медленно и спокойно, как при неразветвляющихся цепях. С увеличением давления обрывы цепей затруднены и цепи сильнее разветвляются. В этом случае реакция переходит через нижний предел и идет, самоускоряясь, до степени самовоспламенения, а при более высоких температурах и давлениях — до степени взрыва. Прибавлением инертных газов (ингибиторов), затрудняющих диффузию и этим способствующих разветвлению цепей, понижается нижний предел давления. После достижения верхнего предела давления разветвление цепей снова затрудняется из-за обрыва их в объеме в результате тройных столкновений или встреч с молекулами загрязняющих примесей, концентрация которых растет с давлением. В развитии современной теории горения основным отправным пунктом явилось установление акад. Н. Н. Семеновым положений теплового и цепного воспламенения.

Для обычного взрыва весьма необходимо соблюдение двух условий: цепного и определенных тепловых условий, которые не удаётся до сего времени сформулировать.

§ 3. ВОСПЛАМЕНЕНИЕ И ГОРЕНИЕ МЕТАНА

Метан представляет собой одну из наиболее часто и в значительных концентрациях встречающихся примесей в атмосфере горных выработок и особенно пожарных участков угольных шахт. Изучению воспламеняемости метана в разных газовых смесях, различными источниками воспламенения и в различных условиях посвящено огромное количество научных исследований. Впервые эти исследования были проведены в начале XIX в. и их результаты положены в основу при формировании теории воспламенения метана.

Теория воспламенения метана. В течение долгих лет явления воспламенения и распространения пламени в смеси метана и воз-

духа объясняли «термической теорией». Согласно этой теории, воспламенение происходит в какой-либо точке газовой смеси, когда ее температура достигает такого значения, при котором реакция газов выделяет тепло в большем количестве, чем его потери за счет теплообмена в окружающую среду. Нагревание газов ускоряется, воспламенение в газовой смеси самопроизвольно увеличивается, пока не переходит во взрыв.

Распространение горения объяснялось разогреванием последовательных слоев смеси начиная от фронта пламени, а потухание рассматривалось как результат охлаждения, например, сеткой предохранительной лампы или охлаждающими слоями, введенными в состав или оболочку взрывчатого вещества. Однако в последнее время выяснилось, что эта теория не может объяснить некоторых из наблюдаемых явлений, а именно:

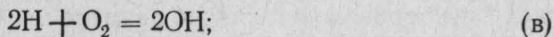
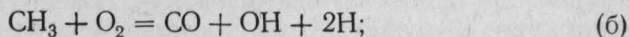
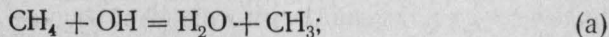
добавки небольших количеств окиси азота и других газов могут понизить температуру воспламенения метана на 200 °С, а небольшие количества ингибиторов могут поднять ее на 100 °С;

скорость распространения пламени и смеси $\text{CH}_4 + \text{O}_2 + \text{He}$ немного больше, чем в смеси $\text{CH}_4 + \text{O}_2 + \text{Ar}$, хотя аргон является значительно лучшим проводником тепла, чем гелий;

стеклянные трубки так же хорошо останавливают распространение пламени, как и медные того же диаметра, хотя теплопроводность меди в 460 раз больше, чем стекла.

В настоящее время доказано, что все реакции взрыва имеют сложную кинетику, которая определенным образом указывает на наличие цепей. При этом влияние теплового фактора не исключается, а наиболее распространенным типом взрыва признается комбинированный цепно-тепловой.

В. Кондратьев на основе совокупности экспериментальных данных, относящихся к кинетике реакции горения различных газов, утверждает, что основным элементарным процессом, определяющим суммарную скорость реакции является бимолекулярный, идущий при участии гидроксила и молекулы горючего. Причиной взрыва метана могут служить следующие реакции:



снова $\text{CH}_4 + \text{OH} = \text{H}_2\text{O} + \text{CH}_3$ и т. д., из которых следует, что поскольку из одной группы OH образуются три такие же группы, то идет развитие цепи.

Из приведенных реакций также ясно, что обрыв цепи может произойти либо при отсутствии O_2 , тогда не будут идти реакции (а) и (б), либо тогда, когда произойдет реакция, при которой полученная в результате цепи реакций группа OH будет взаимодействовать не с CH_4 , а с H ($\text{OH} + \text{H} = \text{H}_2\text{O}$), либо когда эта

группа встретится со стенками реакционного сосуда (стенки выработки).

Температура имеет важное значение в установлении скорости, с которой могут образовываться передаточные звенья, но скорость горения углеводородов зависит от возникновения и активности центров распространения, а не от передачи тепла. Далее необходимо заметить, что для протекания всех упомянутых цепных реакций необходимо предварительное существование активного центра CH_3 или OH . Точная природа цепей реакции в настоящее время еще мало изучена. Однако за последнее десятилетие сделано много в области работы по установлению природы цепей в горении углеводородов.

По спектру пламени горения метана удалось установить в них присутствие CH_2O (формальдегид), OH , CH и CHO . Было вызвано фотохимическое окисление метана (действием ультрафиолетовых лучей на смеси аммиак+метан+кислород) при сравнительно низкой температуре (200°C), освободив в нем радикал CH_3 (центр распространения). С другой стороны, при введении радикалов J , Br реакция останавливалась. Этим было доказано, что радикал CH_3 является центром распространения реакции, и что его действие может быть парализовано галогенными радикалами J , Br , играющими в данном случае роль ингибиторов.

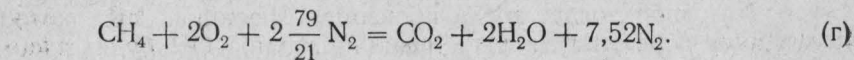
Приняв теорию цепных реакций для объяснения механизма воспламенения метана, можно утверждать, что действие окиси азота и других газов, понижающее температуру воспламенения метана, называется цепной реакцией, в которой окись азота переводит атом кислорода метану через ряд процессов окисления и восстановления. Ингибиторы обладают характерной для них способностью разрушать активные центры (центры распространения).

Распространение пламени идет благодаря диффузии передаточных звеньев в соседних слоях еще негорящего газа, а не путем передачи тепла.

Действие сетки в предохранительных пламенных лампах состоит в разрушении передаточных звеньев цепи реакций, а не в охлаждении пламени. Этим можно объяснить, почему сетки из битуминозной ткани и из искусственного шлака тушили пламя в смесях метана с воздухом так же легко, как сетки из медных или железных проволок таких же размеров.

§ 4. УСЛОВИЯ ВОСПЛАМЕНЕНИЯ И ГОРЕНИЯ СМЕСИ МЕТАНА С ВОЗДУХОМ

Окисление метана кислородом воздуха происходит в соответствии с уравнением химической реакции



Отсюда следует, что в воздухе может полностью сгореть метана

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

Развитие окислительного процесса в горение представлено графически на рис. 4.

Окисление метано-воздушной смеси начинается при повышении температуры до 400°C , после того как в результате нагревания молекулам кислорода сообщена энергия активации.

При достижении температуры горения T_r в смеси происходит самовоспламенение, а затем горение.

Температура самовоспламенения T_c зависит в основном от давления, концентрации горючего газа в смеси с воздухом, концентрации кислорода и характера воспламенителя.

При воздействии на метано-воздушную смесь пламенем или накалиной поверхностью больших размеров самовоспламенение происходит при температурах $645\text{--}850^\circ\text{C}$, поверхностью же малых размеров (тонкая проволока) при температурах $1000\text{--}1300^\circ\text{C}$.

Температура самовоспламенения метано-воздушной смеси изменяется в зависимости от содержания метана (при атмосферном давлении).

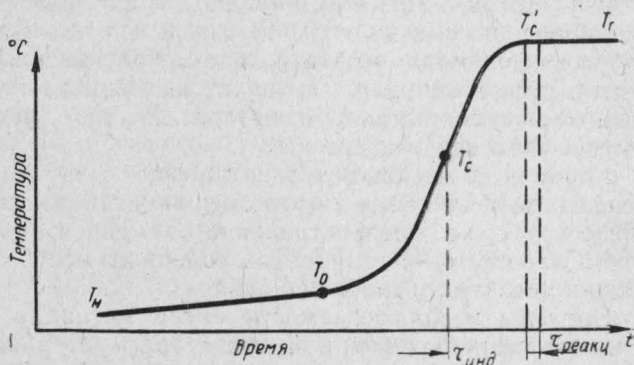


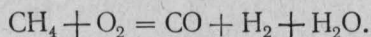
Рис. 4. Развитие окислительных процессов метано-воздушной смеси в горение

При увеличении в смеси содержания кислорода температура самовоспламенения такой смеси понижается — самая низкая температура самовоспламенения соответствует смеси метана с кислородом.

Процесс самовоспламенения длится некоторое время $t_{\text{реакц}}$, пока температура смеси не достигнет температуры T'_c , близкой к температуре горения T_r . Период времени $t_{\text{инд}}$, в течение которого температура самовоспламенения достигает температуры горения, называется индукционным. Длительность этого периода зависит от давления, под которым находится газовая смесь, свойств горючего газа, его концентрации и температуры воспламенителя.

Смесь горючих газов с воздухом может сгорать в факеле, не образуя взрывной волны (при концентрации метана до 5%) и сго-

рять с образованием взрывной волны (при концентрации метана в смеси от 5 до 15%) или взрываться в некоторой части объема, заполненного смесью (вспышка). Вспышка горючей смеси газов происходит при концентрации метана около нижнего предела взрываемости (при недостаточной концентрации метана для взрыва) и около верхнего предела (при недостаточном содержании кислорода). В последнем случае окисление метана происходит по уравнению



При конденсации водяных паров в очаге вспышки образуется вакуум, который способствует перемешиванию газовых смесей на значительном протяжении, в связи с чем к месту очага вспышки притекают слои смеси с иным содержанием кислорода и метана. Если при этом образуется взрывчатая смесь, при наличии источника тепла происходит вторичный и часто более сильный взрыв.

Наибольшее количество метана, которое может быть окислено в воздушной среде (стехиометрическая смесь), составляет около 9,5% по объему или 60—70 г по весу. При сгорании такого количества метана выделяется около 900 кал тепла, а температура в очаге взрыва может достигать 2150—2650 °С.

Основными импульсами тепла, которые могут послужить причиной воспламенения горючих газов в условиях подземных работ, являются: открытое пламя, раскаленные тела, электрические дуги и искры, а также искры, возникающие от ударов породы о металл, металла о металл, породы о породу и разряды статического электричества.

Метан, так же как и другие горючие газы, может быть воспламенен в том случае, если он смешан в соответствующей пропорции с воздухом. Распространение пламени в смеси метана с воздухом невозможно, если смесь содержит менее 5 или более 15% метана при атмосферном давлении.

Пределы воспламеняемости смеси метана с воздухом значительно расширяются при высоких температурах, что хорошо иллюстрируется ореолом пламени, образующимся над пламенем предохранительной рудничной лампы.

Ореол образуется в атмосфере, содержащей меньше 5% метана. Опытами установлено, что воспламенение таких смесей возможно только в той части объема смеси, где действует воспламенитель высокой температуры. Распространения пламени на весь объем не происходит, так как развитие цепей реакции горения в холодных слоях смеси прекращается.

Пределы воспламеняемости изменяются также с давлением, при котором находится взрывчатая смесь, и в зависимости от ряда других обстоятельств, как например направление движения пламени, примесь углекислого газа (ингибиторов), азота и других так называемых инертных газов.

К числу наиболее ранних зарегистрированных наблюдений над

температурой воспламенения метана относятся опыты Дэви, проведенные в 1816 г. по воспламенению метано-воздушной смеси беспламенно горящим древесным углем и раскаленными стержнями. При этом было замечено, что разогревшийся до красного каления древесный уголь не зажигает (не взрывает) никакой смеси воздуха с метаном, а огонь хорошо разогревшегося древесного угля (горение без пламени) раздувался добела взрывчатой смесью метана. Железный стержень, плавным нагревом доведенный до высшей степени красного каления, также не воспламенял взрывчатых смесей метана с воздухом. Взрыв такой смеси газов происходил при «блестящем горении» железного стержня.

В тех же опытах установлено, что смесь окиси углерода с воздухом загорается при красном калении железа и древесного угля. Водород же воспламеняется при самой низкой видимой температуре нагрева железа или древесного угля. При тех же температурных условиях воспламенялись и смесь сероводорода с воздухом. Таким образом, по температурным условиям воспламеняемость метана существенно отличается от других горючих газов.

В 1909 г. были сделаны попытки определить температуру, до которой метан и воздух могут быть нагреты каждый в отдельности, с тем чтобы при их соприкосновении они мгновенно воспламенялись. Газы подвергались действию температуры, развиваемой печью еще до того, как они встречались, вытесняясь непрерывно новыми порциями газа. Температура воспламенения, замеряемая термопарой, не была постоянной, а изменялась от 650 до 750 °C в соответствии с колебаниями в скорости подачи метана и воздуха. При этом было замечено, что температура воспламенения изменялась в зависимости от продолжительности времени, в течение которого производилось нагревание газовой смеси.

Продолжительность нагревания, 0,5; 1; 2; 3; 5; 7; 10; 15 сек.

Температура воспламенения 745, 728, 710, 695, 678, 667, 646 град. Далее удалось наблюдать воспламенения при повышенных давлениях.

Этими опытами доказано, что воспламенение смеси метана с воздухом может происходить как вблизи нагретых твердых поверхностей, так и вдали от них после того, как нагретые газы (метан и воздух) пришли в соприкосновение в течение первых одной или двух секунд; этими же опытами облегчается понимание различных факторов, определяющих безопасность взрывчатых веществ, применяемых в каменноугольной промышленности.

Воспламенение при адиабатическом сжатии. В опытах, проводившихся на протяжении 1906—1914 гг., газовые смеси метана с воздухом подвергались адиабатическому сжатию в цилиндрах разных диаметров, причем было установлено, что из всех смесей метана с воздухом смеси, содержащие около 7% метана, имеют самую низкую температуру воспламенения (при 11,5-кратном сжатии 428 °C) в условиях внезапного сжатия. Наиболее важный практический результат этих опытов выразился в доказа-

тельстве возможности воспламенения метана с воздухом одним быстрым сжатием даже при полном отсутствии пламени.

При сравнении температур воспламенения метана замечено, что самая низкая температура воспламенения метана 646°C (при атмосферном давлении и продолжительности нагревания 15 сек) более чем на 200°C превышает температуру воспламенения некоторых смесей при адиабатическом сжатии.

Во всякой смеси метана с воздухом, содержащей больше 14% метана, пламя не распространяется на большое расстояние от источника воспламенения. Однако по мере повышения давления более богатые метаном смеси становятся воспламеняющимися. Так, например, границей воспламеняемости при давлении 125 ат является смесь метана с воздухом, в которой содержание метана составляет около 48%. Таким путем при повышенном давлении удалось воспламенить смесь метана с воздухом, содержащую 75% метана.

Воспламенение метана нагретыми поверхностями. Опытное воспламенение нагретыми поверхностями смеси метана с воздухом производилось многими исследователями.

Для проведения таких опытов применялись кварцевые сосуды, которые нагревались вначале до температуры, требуемой опытом, а затем из них выкачивался воздух и сосуды наполнялись нужной смесью метана с воздухом.

В результате таких опытов было замечено, что с уменьшением объема сосуда и увеличением соотношения между поверхностью и объемом температура воспламенения повышается.

Кроме того, из всех воспламеняющихся смесей метана с воздухом смеси, содержащие от 5 до 7% метана, воспламеняются при самых низких температурах.

Нагретыми поверхностями в шахте могут быть: тлеющий уголь или кокс при пожаре, раскаленная сетка предохранительной пламенной лампы при сгорании внутри нее за короткий срок взрывчатой смеси газов, раскаленная нить разбитой электрической лампы, искры трения, нагретая поверхность тормозной колодки, нагретые трением режущие части угледобывающих машин и др.

Воспламенение метана накаливаемыми металлическими стержнями. Если кусок металла накаливается во взрывчатой атмосфере метана и воздуха, то нагретые газы благодаря конвекции обтекают его, находясь в соприкосновении с нагретой поверхностью в течение весьма короткого промежутка времени. Поэтому самая низкая температура, при которой металлический стержень может воспламенить смесь метана с воздухом, должна быть значительно выше, чем самая низкая температура, при которой закрытый сосуд из того же самого материала воспламеняет смесь, заключенную внутри него. Поэтому металлические стержни для того, чтобы воспламенить окружающую их смесь, должны иметь гораздо более высокую температуру, чем кварцевые трубки, в которых протекает такая же газовая смесь.

Кривые на рис. 5 показывают температуры, при которых стержни некоторых металлов воспламеняют взрывчатые смеси газов. Большинство металлов дает сходные кривые; исключение представляют молибден и платина. Первый легко сгорает, образуя облако окислов, платина же весьма активна в каталитическом отношении и более температуроустойчива. Железо и мягкая сталь горят и окисляются с разбрасыванием хлопьев окалины. При этом горящие частицы металла окисляются настолько быстро, что их температура повышается до предела, который трудно определить точно. На основании этих данных можно сделать следующие выводы:

1) металлический стержень при температуре красного каления совершенно не может воспламенить метан;

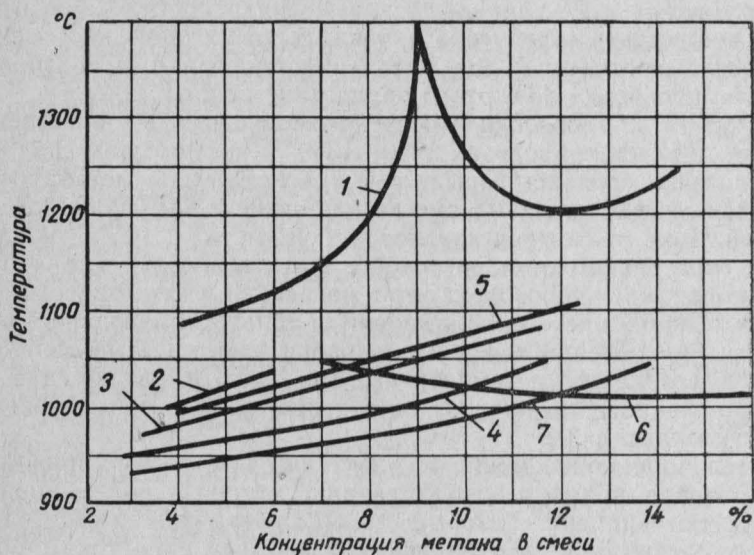


Рис. 5. Температура воспламенения смеси метана с воздухом металлическими стержнями:

1 — платина, 2 — медь, 3 — никель, 4 — сталь, 5 — вольфрам, 6 — молибден, 7 — специальная сталь

2) широкие стержни зажигают газ несколько быстрее, чем узкие, однако при увеличении ширины стержня до 40 мм температура воспламенения уменьшается всего лишь на 30 °C.

Воспламенение накалинной проволокой. Подобно накалинным металлическим стержням, нагретая проволока при воспламенении газовой смеси метана с воздухом является одновременно и источником тепла, и катализатором. При обтекании газом проволоки, имеющей меньшую боковую поверхность, чем стержень равной длины, время контакта между ними сокращается, а поэтому для воспламенения газа проволока должна быть нагрета до более высокой температуры, чем стержень.

Опытным путем доказано, что толстая проволока к воспламенению взрывчатой смеси газов более активна, чем тонкая проволока из того же самого материала, а проволочная сетка активнее отдельных проволок. Многие исследователи опытным путем доказали, что железной проволокой в очень редких случаях можно воспламенить смесь метана с воздухом, прежде чем проволока расплавится.

Проведенные опыты по воспламенению метана платиновой проволокой показали, что воспламенение происходило от проволок, имеющих диаметры 0,1; 0,2 и 0,3 мм. При этом было замечено, что если силу электрического тока медленно увеличивать, то платиновая проволока может расплавиться во взрывчатой смеси, не воспламенив ее. Регулярно воспламенения происходили тогда, когда мощность электрического тока была значительно меньше мощности, необходимой для плавления проволоки, а ток пропускался по проволоке с быстрым нарастанием силы.

Температура проволоки непосредственно перед воспламенением газа находилась в пределах 1200—1300 °C и при этом наиболее трудно воспламенялись взрывчатые смеси (9—10% метана).

Воспламенение газовых смесей накалиной вольфрамовой проволокой. Вольфрам представляет собой металл, легко окисляющийся (при достаточном нагреве) с выделением летучих окислов.

Вольфрамовая проволока при нагревании электрическим током на воздухе постепенно становится тоньше. Благодаря такому процессу уменьшения сечения проволоки электрическое сопротивление ее возрастает, а температура при одной и той же силе тока повышается, пока не начинается горение, при котором проволока быстро сгорает.

Нагревание более мощным электрическим током приводит к сгоранию вольфрама и воспламенению метана в более короткие промежутки времени. Газовые смеси с содержанием метана 8% в обоих случаях воспламенялись при меньшей силе тока, пропускаемого через проволоку, в сравнении с газовыми смесями, которые содержат как меньшую, так и большую концентрацию метана.

Воспламенение газовых смесей искрами трения. Поток небольших твердых частиц вещества, нагретых до высокой температуры трением, отделяющихся от крупных трущихся предметов, составляет искры трения.

Мелкие частицы в состоянии красного или белого каления при весьма кратковременном контакте со взрывчатой смесью метана и воздуха в очень редких случаях дают воспламенение газа. Воспламенение смеси возможно в том случае, когда температура частиц имеет настолько высокую температуру, что период индукции весьма мал.

Во второй половине XVIII в. для освещения в шахтах Англии пользовались искрами трения, получающимися при вращении стального диска, трущегося о кремьнь. Такие искры воспламеняли взрывчатую смесь газов.

Начало исследований лабораторного характера в этом направлении относится к 1886 г.

Б. Е. Долгов и Д. Г. Левицкий (1933 г.), обобщая результаты таких исследований, приходят к выводу, что в лабораторных условиях сравнительно легко воспламенить взрывчатую газовую смесь искрами от трения между собой известных сортов песчаника. Труднее воспламеняются такие смеси при трении колеса из песчаника о сталь. Блестящие искры, которые можно получить от трения стали и карборунда, не воспламеняют взрывчатой смеси благодаря тому, что быстродвижущиеся искры имеют весьма непродолжительный контакт с газовой смесью. Если в местах касания колеса и породы образуется раскаленная блестящая поверхность, которая часто имеет температуру выше, чем искры, исходящие от нее, то такая поверхность может воспламенить газовую смесь. Гораздо труднее достигнуть воспламенения метана искрами, получающимися при трении колеса из песчаника о сталь, чем о породу. Это может быть объяснено тем, что сталь быстрее проводит тепло, чем порода. Обрушение кровли, производящее большое давление между поверхностями пород, а также скольжение обрушающейся породы по острым краям других пород, могут вызвать воспламенение газовой смеси в чрезвычайно короткий промежуток времени, требующий соответственно малой высоты падения. Песчаники с большим содержанием кварца являются более опасными в отношении искрообразования.

Ш. Титман («Colliery Guardian», декабрь 1955 г.) сообщает результаты воспламенения газовой смеси искрами от удара металла о породу и породу о породу. При этом замечено, что более решающее значение играет твердость не металла, а породы.

В многочисленных опытах было достигнуто воспламенение смеси метана с воздухом при работе врубовых машин (резание по специально выбранной твердой породе).

Особую опасность по воспламенению смеси метана с воздухом представляют искры, получаемые при ударе оборудования, изготовленного из легких сплавов, по заржавленному железному или стальному предмету или листу.

Применение гидравлических стоек с верхняками Шлома для крепления в лаве в шахте «Кликор» (Гламонгаршир) привело к взрыву газовой смеси и тяжелым последствиям (Colliery Guardian № 4932, 8 сентября 1955 г.). 13 января 1954 г. рабочий хотел снять верхняк Шлома возле бутовой полосы № 8. Как только он ударил молотком по клину, у места удара возникло пламя, которое распространилось к фронту лавы, а затем отклонилось к бутовому штреку № 7. Пламя взрыва значительно распространилось по направлению вентиляционной струи и против ее движения. Из 32 рабочих, находящихся в лаве, 24 человека получили тяжелые и легкие ожоги. Опытным путем было установлено, что сплав, содержащий около 11,6% алюминия, является самым лучшим по коэффициенту трения и не дает опасной по воспламенению газов искры.

Воспламенение открытым пламенем. Длительно действующее пламя, как бы оно мало ни было, воспламеняет газовую смесь метана с воздухом. Единственное исключение из этого представляет своеобразное «холодное пламя», наблюдающееся в специальных условиях, как например при слабом подогревании смеси паров эфира с воздухом.

Пламя бензиновой лампы, уменьшенное до такой степени, что оно находится на точке затухания, все же имеет температуру, намного превышающую температуру воспламенения метана. Поэтому период запаздывания горючей смеси, входящей в соприкосновение с пламенем лампы, бывает весьма коротким.

Пламя взрывчатых веществ существенно отличается от обыкновенного пламени кратковременностью своего действия.

Легче всего от открытого пламени воспламеняются метано-воздушные смеси, содержащие около 10% метана.

Продолжительность контакта пламени со взрывчатой средой до ее воспламенения оказывается тем меньше, чем больше площадь пламени, используемого в качестве источника воспламенения, т. е. чем больше площадь зажигающего пламени, тем менее заметна разница во времени воспламенения разных смесей.

Воспламенение метано-воздушной смеси электрическими искрами. Электрический заряд в газе может иметь вид тихого свечения одиночной искры, снопа искр (короткой продолжительности) или же электрической дуги, которая может иметь некоторую продолжительность во времени.

Хорошо известно, что при светящемся разряде или при разряде в виде снопа искр могут происходить химические реакции, как например образование озона, однако при этом взрывчатая смесь газов никогда не воспламенялась. Ввиду малых количеств энергии, развиваемой при тихом свечении, возможность воспламенения взрывчатой смеси газов представляется маловероятной, особенно если учесть невоспламеняемость ее под действием слабых искр, энергия которых более интенсивна. Поэтому практический интерес представляет способность воспламенения газовой смеси отдельными искрами и электрической дугой.

Электрическая искра представляет собой кратковременный источник тепла. Ее температура значительно выше температуры воспламенения метана. Распространение пламени в газовой смеси зависит от объема этой смеси, непосредственно воспламененного искрой (на всей длине ее движения).

§ 5. ВОСПЛАМЕНЕНИЕ МЕТАНА В СМЕСИ С ВОЗДУХОМ И ИНЕРТНЫМИ ГАЗАМИ

Воспламенение и горение газовой смеси метана с воздухом может протекать в следующих условиях: при наличии достаточного количества кислорода, необходимого для окисления, и начальных температурных условий для образования активных центров (радикалов и атомов) OH , CH_3 , CHO и O .

При сгорании газовой смеси, содержащей 9,5% метана, в реакции горения принимает участие наибольший объем смеси ($9,5 + 19 = 28,5\%$), а поэтому и сила взрыва получается максимальной.

Далее следует заметить, что при воспламенении смеси метана с воздухом, в которой содержание метана превышает 9,5%, могут образоваться два типа пламени: первичное, когда горение протекает с недостатком кислорода, и вторичное — в случае дожигания метана смеси в присутствии кислорода воздуха, поступающего извне.

Вероятность появления вторичного пламени растет по мере приближения концентрации метана к верхнему пределу воспламенения метана.

Многими исследователями (Диксон, Уиллер, Коуард, Нейлор, Каттвинкель, Харджер, Черницын, Сухаревский и другие) были проведены исследования с целью выявления влияния кислорода, катализаторов и инертных газов на воспламеняемость смеси метана с воздухом.

Нами (1952 г.) была исследована относительная сила взрыва различной концентрации метана в смеси с воздухом и кислородом. При этом относительная сила взрыва измерялась углом отклонения маятника, который располагался над горловиной реакционной камеры. Продукты взрыва прорывали бумагу, которой была закрыта горловина, и давили на скошенную поверхность маятника. Угол отклонения маятника зависел от силы давления на него продуктов взрыва.

Относительные силы взрыва в зависимости от концентрации метана в смеси с воздухом представлены кривой на рис. 6. Согласно этому графику, сила взрыва, начиная с концентрации 5,1% (нижний предел взрываемости), довольно круто возрастала до концентрации метана 9,5% (угол отклонения маятника от 16 до 60°), а затем также резко уменьшалась и при значении 13,8% (верхний предел) соответствовала отклонению маятника на 17° .

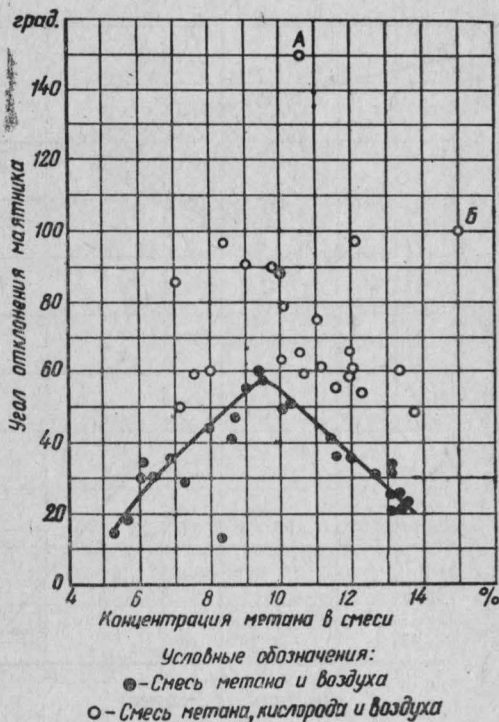


Рис. 6. График отклонения маятника над камерой при взрывах смесей метана с воздухом в зависимости от концентрации метана

При воспламенении газовой смеси *А*, в которой концентрация метана была 10,53%, а кислорода 22,5%, сила взрыва соответствовала отклонению маятника на 150°, а при воспламенении смеси *Б* с концентрациями метана и воздуха соответственно 15 и 20,4%. Угол отклонения маятника был 100°. Таким образом, сила взрыва и верхний предел воспламеняемости смеси газов изменяются в зависимости от концентрации метана и кислорода в ней.

Многие исследователи для смеси метан, воздух и углекислота (азот) принимают предельную взрывоопасную концентрацию кислорода 12%. Воспламеняемость метано-воздушной смеси с инертными газами (углекислым газом и азотом), экспериментально полученная нами (1952 г.), графически изображена на рис. 7. Здесь диаграммой *а* отражается воспламеняемость смесей метана, воздуха и углекислого газа, а диаграммой *б* — смесей метана, воздуха и азота. На этих графиках легко выявляется, что углекислота значительно сильнее уменьшает воспламеняемость смеси, чем азот.

Из этих данных следует, что воспламенение газовой смеси прекращается при снижении концентрации кислорода ниже 13,5% в смеси метан, воздух и азот, а в смеси метан, воздух и углекислый газ — при снижении кислорода ниже 15%.

Таким образом, для этих смесей газов взрывоопасными пределами кислорода являются 13,5 и 15%.

Газовые смеси (см. рис. 7) обладают следующими свойствами: смеси, которые составляют линию *АГ*, образуются при смешении метана с воздухом; смеси, соответствующие отрезку *ВВ*, взрывчатые; смеси, из точек которых образована площадь *1*, невзрывчатые, но становятся взрывчатыми при добавлении метана; все смеси площадей *2а*, *2б* взрывчатые; все газовые смеси, расположенные на площади *4*, невзрывчатые, однако при добавлении воздуха (кислорода) они становятся взрывчатыми.

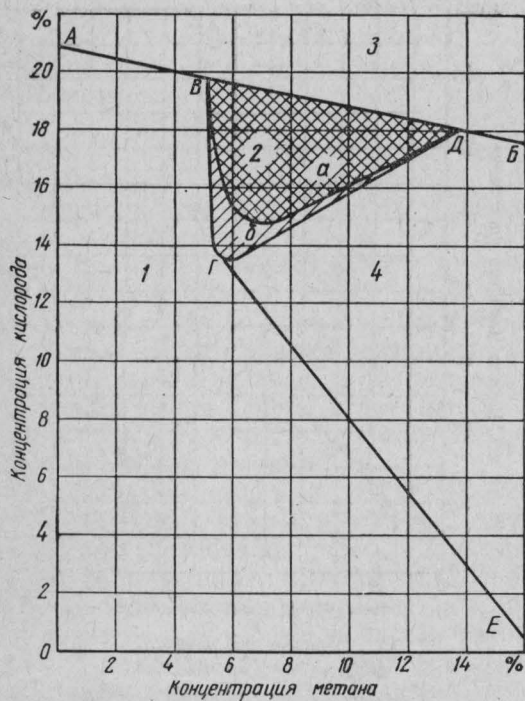


Рис. 7. Графики воспламеняемости метано-воздушной смеси с инертными газами

Полученные расхождения наших результатов с результатами других исследователей по взрывоопасным пределам кислорода в смесях метан, воздух и инертные газы (азот и углекислый газ) можно объяснить различными условиями экспериментов по воспламенению газовых смесей.

В ранее проведенных исследованиях газовая смесь поступала в кварцевый сосуд, стенки которого равномерно нагревались электрической спиралью, помещенной на его внешней стороне. В наших же опытах сначала приготавливалась газовая смесь в металли-

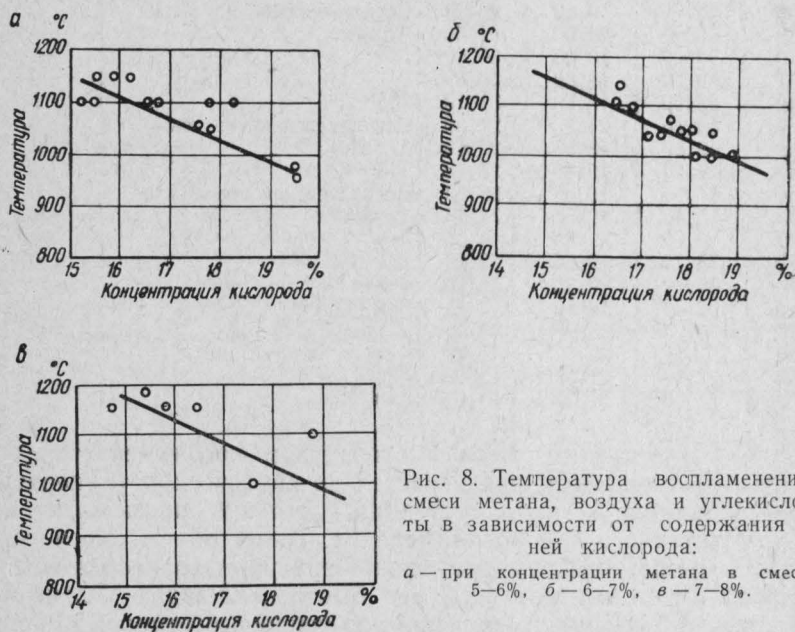


Рис. 8. Температура воспламенения смеси метана, воздуха и углекислоты в зависимости от содержания в ней кислорода:

а — при концентрации метана в смеси 5—6%, б — 6—7%, в — 7—8%.

ческой реакционной камере, а затем подключался ток к электрическому нагревателю, находящемуся внутри камеры. Нагреватель представлял собой платиновую проволоку диаметром 3 мм и длиной 200 мм, навитую спиралью на фарфоровую трубку диаметром 12 мм. В выработках угольных шахт могут образовываться условия, аналогичные как первым опытам, так и вторым, а поэтому взрывоопасной концентрацией кислорода следует признать 12%.

В условиях нагретых стенок кварцевого сосуда газовая смесь с понижением в ней концентрации кислорода азотом и углекислотой воспламенялась при температуре стенок, повышенной примерно на 100 °C. В условиях же нашего эксперимента газовые смеси, у которых концентрация кислорода снижалась азотом и углекислым газом, воспламенялась при температуре нагревателя, повышенной на 200 °C (рис. 8).

При частичной замене (до 60%) азота (в смеси метана с воз-

духом) углекислым газом большинство смесей даже с повышенным содержанием кислорода не воспламеняется.

Результаты таких исследований помещены в табл. 7.

Таблица 7

Состав газовой смеси, %				Температура нагревателя. при которой произошло воспламенение смеси, град	Угол отклонения маятника, град
CH ₄	CO ₂	O ₂	N ₂		
5,10	45,60	19,40	29,90	Воспламенения не было	0
5,50	45,00	20,00	29,50	То же	0
6,50	44,00	19,00	30,50	»	0
7,11	43,20	19,80	30,89	»	0
7,40	42,00	19,50	31,10	1150	0
5,80	54,10	21,80	21,80	Воспламенения не было	0
6,50	52,50	18,50	22,50	То же	0
8,40	49,20	19,40	23,00	1150	1
5,50	41,60	19,00	33,90	Воспламенения не было	0
5,75	40,40	19,50	34,35	То же	0
5,75	38,60	19,30	49,35	»	0
5,00	38,75	19,65	36,60	»	0
6,50	37,20	19,35	36,95	»	0
7,25	36,40	19,10	37,35	»	0
7,25	34,95	19,85	37,95	»	0
6,50	32,50	20,60	40,40	»	0
6,50	32,00	21,50	40,40	»	0
7,00	31,00	21,20	40,80	1100	3

Взрывчатая смесь метана с воздухом воспламеняется, если значительный ее объем прогревается до критической температуры и выдерживается в таком состоянии в течение промежутка времени, достаточного для воспламенения. Такой объем смеси горючих газов может быть нагрет до температуры его воспламенения и не воспламенится, если он будет быстро охлажден. Электрическая искра с большой интенсивностью теплового импульса способна в течение миллионной доли секунды воспламенить достаточный объем газовой смеси и распространить пламя на всю смесь. При малой интенсивности импульса тепла воспламенение и распространение пламени может произойти за счет увеличения продолжительности нагревания.

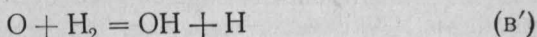
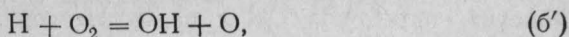
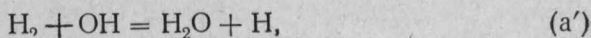
Реакция между CH₄ и O₂ при содержании в метано-воздушной смеси метана от 5 до 15% приобретает взрывной характер.

При снижении концентрации кислорода в смеси метана с воздухом инертными газами (углекислый газ, азот и др.) взрываемость таких смесей может быть снижена или совсем предотвращена.

§ 6. ВОСПЛАМЕНЕНИЕ ВОДОРОДА В СМЕСИ С ВОЗДУХОМ

Главную роль в механизме реакций горения водорода играют реакции гидроксила OH и атомарного кислорода O с молекулой водорода H₂.

Механизм окисления водорода характеризуется следующими реакциями:



и снова

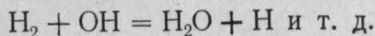
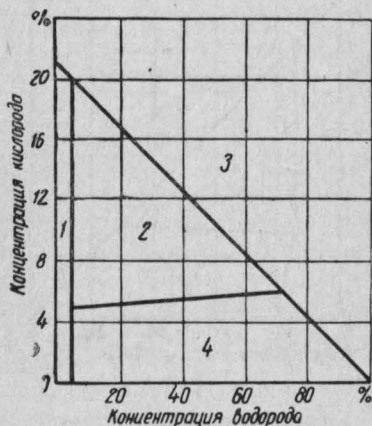
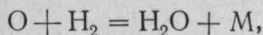


Рис. 9. Взрываемость газовой смеси водорода, воздуха и азота в зависимости от концентрации в ней кислорода:

1—невзрывчатые, но способные образовывать взрывчатые смеси после прибавления к ним водорода, 2—взрывчатые, 3—смеси, которые невозможно получить от смешения водорода с воздухом, 4—невзрывчатые смеси, но при смешении с воздухом способны образовывать взрывчатые смеси



Из этих реакций видно, что поскольку из одной группы OH получают две группы OH , то происходит развитие цепи. Цепь обрывается или при отсутствии O_2 , или при реакции на стенках



где M — стенка сосуда.

Из участвующих в этой схеме реакций активных центров H , O , OH В. Кондратьеву (1946 г.) и его сотрудникам удалось спектроскопическим методом обнаружить и количественно измерить концентрации H , OH . Концентрация атомов кислорода должна быть, как показывает расчет, весьма незначительной и опытное ее измерение едва ли возможно. Установлено, что в смеси с воздухом образуются взрывчатые смеси при содержании в них от 4 до 74% водорода. Температура воспламенения такой взрывчатой смеси колеблется от 580 до 600 °C.

Пределы взрываемости водорода в смеси с воздухом и азотом были определены опытным путем и зависимость их от концентрации кислорода в смеси представлена графически (рис. 9).

§ 7. ВОСПЛАМЕНЕНИЕ ОКСИ УГЛЕРОДА В СМЕСИ С ВОЗДУХОМ

На основании выводов В. Кондратьева (1946 г.) о том, что основным элементарным процессом, определяющим суммарную скорость реакции, является бимолекулярный процесс, идущий при участии гидроксила OH и молекулы горючего (в данном случае CO), основной определяющей стадией в механизме горения CO является реакция

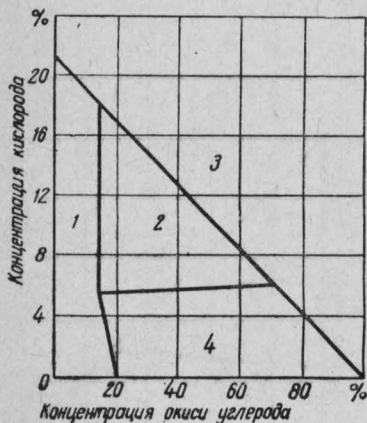
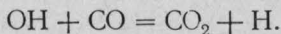
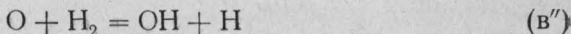
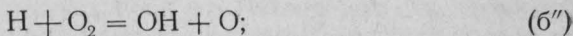
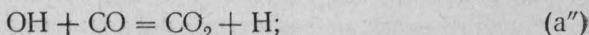


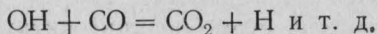
Рис. 10. Взрываемость газовой смеси окиси углерода, воздуха и азота в зависимости от концентрации в ней кислорода:

1 — невзрывчатые смеси, которые способны образовать взрывчатую смесь после прибавления к ним CO , 2 — взрывчатые смеси, 3 — смеси, которые невозможно получить от смешения окиси углерода с воздухом, 4 — невзрывчатые смеси, но при смешении с воздухом способны образовывать взрывчатые смеси

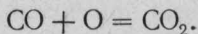
Горение окиси углерода можно характеризовать следующей цепью реакций:



и снова



Из этих реакций следует, что, поскольку из одной группы OH получаются две такие группы, цепь реакций разветвляется. Из реакций также видно, что обрыв цепи может произойти при отсутствии O_2 или по реакции, например,



Опытными работами установлено, что смесь окиси углерода с воздухом взрывчата при содержании в ней CO от 12,5 до 74,2%. Температура воспламенения этой взрывчатой смеси колеблется от 630 до 800 °C.

Зависимость пределов взрываемости газовой смеси окиси углерода, воздуха и азота от содержания в ней кислорода графически представлена на рис. 10.

§ 8. ПРЕДЕЛЫ ВОСПЛАМЕНЕНИЯ ГАЗОВЫХ СМЕСЕЙ, СОДЕРЖАЩИХ ГРУППУ ГОРЮЧИХ ГАЗОВ

В выработках угольных шахт преимущественно в аварийных условиях появляются примеси разнообразных газов (CH_4 , H_2 , CO и редко C_2H_4 и C_2H_2), пределы воспламенения которых в смеси с воздухом приняты согласно данным табл. 8.

Т а б л и ц а 8

Газ	Пределы концентраций в горючей смеси, %		Диапазон кон- центраций го- рючих газов, %
	нижний	верхний	
Метан	5	15	10
Этилен	2,75	28,6	25,85
Ацетилен	2,5	80,6	77,5
Водород	4,0	74,2	70,2
Окись углерода	12,5	74,2	62,5

Пределы взрываемости группы горючих газов, находящихся в смеси с воздухом, могут быть определены расчетным путем по преобразованной нами (1952 г.) формуле

$$P_{\text{см}} = \frac{C}{\frac{C_1}{P_1} + \frac{C_2}{P_2} + \frac{C_3}{P_3} + \dots + \frac{C_n}{P_n}}, \quad (1)$$

где $C_1, C_2, C_3, \dots, C_n$ — содержание различных горючих газов в смеси, %;

$C = C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n$ — сумма горючих газов в смеси, %;

$P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$ — соответствующие пределы взрываемости каждого газа смеси, %;

$P_{\text{см}}$ — предел взрываемости смеси газов, %.

Нижний предел воспламеняемости смеси определяется, когда в уравнение (1) подставляются значения P_1, P_2, P_3 и т. д., соответствующие нижним пределам воспламеняемости каждого газа, а для определения верхних пределов воспламеняемости смеси необходимо в это уравнение подставить значения верхних пределов воспламеняемости каждого газа.

§ 9. УСЛОВИЯ ВОСПЛАМЕНЕНИЯ ГРУППЫ ГОРЮЧИХ ГАЗОВ

Горючие газы (метан, водород, окись углерода и др.), находящиеся в смеси с воздухом и инертными газами (азотом и углекислотой), при наличии благоприятных условий по температурному

фактору воспламеняются при следующих граничных условиях:

1) содержание горючего газа должно находиться между нижним и верхним пределами его воспламенения, которые, в свою очередь, зависят от содержания кислорода в смеси;

2) содержание кислорода должно быть больше или равно минимально необходимому для воспламенения данной концентрации горючего газа.

Зависимость между нижним пределом воспламенения горючих газов (наиболее часто встречающихся в аварийных условиях в горных выработках) и содержанием кислорода при смешении этих газов с воздухом и инертными газами (азот и углекислый газ) представлена числовыми данными в табл. 9.

Т а б л и ц а 9

Горючий газ	Предел взрывоопасного содержания кислорода, % при разбавлении смеси	
	углекислым газом	азотом
Метан	14,8*	12 (13,6)*
Водород	5,9	4,9
Оксид углерода	5,9	6,6

* По опытным данным автора.

Воспламенение смеси горючих и инертных газов с воздухом определяется содержанием в ней горючих газов и кислорода. Каждой взрывчатой смеси газов соответствует (см. рис. 7, 9 и 10) предельное содержание кислорода, при котором смесь воспламеняется, а при уменьшении этого предельного содержания кислорода смесь становится невоспламеняющейся. Такая концентрация названа пределом взрывоопасного содержания кислорода.

Предел взрывоопасного содержания кислорода для группы горючих газов определяется расчетным путем по уравнению

$$B = \frac{\delta_1 C_1 + \delta_2 C_2 + \dots + \delta_n C_n}{C}, \quad (2)$$

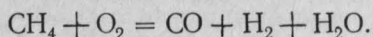
где B — предел взрывоопасного содержания кислорода для смеси горючих газов, смешанных с воздухом и инертными газами (CO_2 или N_2), %;

$\delta_1, \delta_2, \delta_3, \dots, \delta_n$ — пределы взрывоопасного содержания кислорода для каждого горючего газа смеси, %.

Содержание кислорода (ниже предела взрывоопасного содержания), при котором смесь газов не воспламеняется, называется взрывобезопасным.

Продукты горения газов. Конечными продуктами горения и окисления горючих газов (CH_4 , CO , H_2 , C_2H_4) являются вода, пар и углекислый газ.

Вспышка горючих газов происходит при недостаточном содержании в рудничном воздухе кислорода и повышенном содержании метана. При этом образуются окись углерода, водород и вода (пар):



Если до взрыва имеется следующий состав рудничной атмосферы, %

5,2 CH_4 , 20,2 O_2 , 74,6 N_2 ,

9,5 CH_4 , 19,0 O_2 , 71,5 N_2 ,

13,1 CH_4 , 18,3 O_2 , 68,6 N_2 ,

то после взрыва состав газов соответственно изменяется:

5,2 CO_2 , 19,4 H_2O , 0,8 O_2 , 74,6 N_2

9,5 CO_2 , 19,0 H_2O , 71,5 N_2 ,

5,2 CO_2 , 7,9 CO , 18,3 H_2O , 68,6 N_2 .

Состав рудничного воздуха после воспламенения газов. В результате горения, вспышки и взрыва газовой смеси в подземных выработках состав рудничного воздуха пополняется газами CO_2 , CO и парами воды.

Последующее за взрывами и вспышками газов перемешивание рудничного воздуха приводит к тому, что в течение непродолжительного времени продукты горения газов разбавляются свежим рудничным воздухом, в котором могут быть и горючие газы, не принявшие участия в горении.

Например:

1) состав рудничного воздуха, исходящего из лавы, в зарубежной щели которой горел метан: O_2 от 20 до 20,6%; CO_2 от 0,1 до 0,8%; CO от 0,007 до 0,005%;

2) состав рудничного воздуха после взрыва газов перед забоем откаточного штрека: O_2 от 18 до 19,8%; CO_2 от 0,3 до 1,0%; CO от 0,01 до 0,07%; CH_4 от 0,5 до 8,5%;

3) состав рудничного воздуха после взрыва газов в лебедочной камере: O_2 от 7,5 до 19%; CO_2 от 0,2 до 7,6%; CO —0; CH_4 от 0,6 до 30%.

ГОРЕНИЕ ТВЕРДЫХ И ЖИДКИХ МАТЕРИАЛОВ

§ 1. ВОСПЛАМЕНЕНИЕ И ГОРЕНИЕ УГОЛЬНОЙ ПЫЛИ

Пыль многих негорючих или трудновоспламеняющихся твердых веществ (железо, цинк, алюминий, сера, каменный уголь и др.) воспламеняется. Это явление может быть объяснено следующими факторами: большая поверхность соприкосновения пылеобразного вещества с кислородом; активное поглощение кислорода пылинками и способность пыли некоторых веществ выделять при нагревании горючие газы. По воспламеняемости и взрывчатости угольная пыль является наиболее опасной, так как 1 кг ее при нагревании выделяет 200—300 л горючих газов. Кроме того, она обладает способностью интенсивно окисляться при относительно невысоких температурах.

Динамические и тепловые эффекты воспламенения угольной пыли различны: в одних случаях они превосходят взрыв метано-воздушной смеси; в других случаях они представляют взрывообразное горение с относительно небольшой скоростью распространения пламени в облаке пыли.

Замедленное распространение пламени и неполное сгорание угольной пыли обусловлено наличием в ней негорючих примесей и влаги. При этом часть пыли подвергается коксованию с образованием характерной корки, которая располагается на крепи и стенках горных выработок.

По данным различных исследователей, температура воспламенения угольной пыли колеблется в широких пределах: 700—960° (МГУ, СССР), 750—900° (Франция), 995—1105° (Англия).

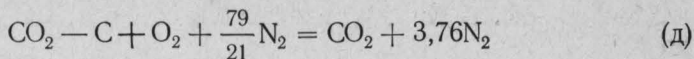
Длительность индукционного периода, имеющего место также и при воспламенении угольной пыли, несколько меньше, чем при воспламенении метано-воздушной смеси, из-за присутствия водорода и окиси углерода в летучих веществах угля. Она зависит от температуры воспламенения, размеров пылинок и сорта угля.

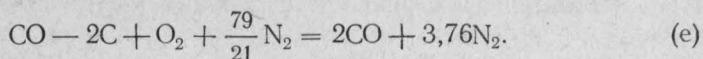
Угольная пыль (аэрозоль) имеет свои предельные концентрации по взрываемости, находящиеся между верхним и нижним пределами. Концентрации вне этих пределов характеризуют невзрывчатость пыльного облака.

По данным многих исследователей, в том числе и советских (МакНИИ), нижний предел взрываемости угольной пыли колеблется от 18 до 34 г/м³.

Верхний же предел взрываемости угольной пыли, по данным МакНИИ и ученых США, соответствует концентрации 2000 г/м³.

Угольная пыль, если рассматривать ее как аморфный углерод С, окисляется водородом и воздухом в





Максимальное количество углерода, которое может сгореть в 1 м³ воздуха, составляет 110 г. Сгорая в CO₂, это количество углерода выделяет около 3,768 · 10⁴ дж тепла, а температура в очаге горения достигает 2300—2500 °С.

Количество углерода, которое может быть окислено в СО одним кубическим метром воздуха, составляет около 224 г. Это количество углерода, сгорая в СО, выделяет около 23,027 · 10⁴ дж тепла и создает в очаге горения температуру около 1300—1500 °С.

В подземных выработках воспламенение угольной пыли происходит в следующих случаях: при взрывных работах, взрывом метано-воздушной смеси, открытым пламенем, электрическими дугами и искрами.

Весьма опасным импульсом для взрыва угольной пыли является взрыв метана, так как взрывной волной поднимается во взвешенное состояние угольная пыль со стенок выработок и в атмосфере образуется облако пыли, которое может также воспламениться.

Взрывчатость угольной пыли обуславливается следующими факторами: составом пыли, ее концентрацией в шахтной атмосфере, расположением места взрыва, сечением выработок, шероховатостью стен и неровностью почвы, распределением пыли по выработке.

Естественная влажность угольной пыли снижает ее взрывчатость. Влага, содержащаяся в пыли, затрудняет процесс горения и усиливает слипаемость частиц, затрудняя их поднятие в воздух и образование пылевого облака.

При наличии метана в атмосфере выработок нижний предел взрываемости угольной пыли значительно снижается.

§ 2. ВОСПЛАМЕНЕНИЕ И ГОРЕНИЕ УГЛЯ

В подземных выработках уголь способен воспламеняться как от внешних источников тепла, так и в результате самонагревания.

Как излагалось выше, окисление органических веществ газообразным кислородом вызывает их самонагревание, а затем воспламенение и горение.

Согласно обобщениям В. С. Веселовского (1963 г.) в области теории самовозгорания углей и руд, самовозгорание определяется не только количеством образовавшегося при химической реакции тепла, а главным образом соотношением между этим теплом и теплом, отдаваемым в окружающую среду очагом окисления.

Процесс окисления необходимо рассматривать в зависимости от химической активности вещества, а также от притока кислорода к месту реагирования и теплообмена. При этом всегда активный баланс тепла обеспечивает самонагревание.

К этому необходимо добавить, что с нарастанием температуры скорость химической реакции окисления увеличивается. Поэтому дальнейшая скорость окисления материалов обеспечивается соответствующей скоростью притока кислорода к реагирующим поверхностям. С повышением температуры увеличивается скорость сорбции кислорода, поэтому диффузионный приток кислорода к поверхностям с повышением температуры должен также возрастать.

Если окисление при низких температурах сохраняет цепной механизм, то в результате самонагревания вещества при активном балансе тепла может произойти воспламенение, которое является началом процесса горения.

Температура, при которой происходит воспламенение, называется инициальной, или критической температурой воспламенения.

Воспламенение и процесс горения материалов наступают тогда, когда скорость аккумуляирования тепла становится достаточно большой, чтобы поддерживать температуру реагирующих тел на уровне, при котором окисление идет достаточно быстро.

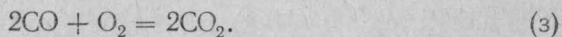
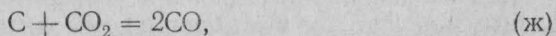
С увеличением давления кислорода и уменьшением энергии активации материала, согласно Н. Н. Семенову, период индукции, а также температура возгорания материала уменьшаются.

Примеси ингибиторов повышают температуру возгорания материалов, а положительные катализаторы — понижают. Ингибиторы, добавленные к реагирующим массам, обрывают цепи элементарных реакций, а положительный катализатор ускоряет развитие цепей.

В большинстве твердых горючих веществ основной частью является углерод. Дерево, торф и антрацит содержат от 50 до 90% углерода. Многочисленные исследования в области изучения горения углерода были проведены советскими учеными А. С. Предводителевым, А. Н. Хитриным, М. К. Гродзовским, О. А. Цухановой, Х. И. Колодцевым (1949), В. С. Веселовским (1955 г.) и другими.

Взаимодействие углерода с кислородом протекает по двум основным реакциям [см. формулы (д) и (е)], которые называются первичными.

Реагирование продуктов первичной реакции с раскаленным углеродом (кокс) и кислородом образует вторичные реакции:



В практических условиях при горении углерода исключить вторичные реакции из процесса горения невозможно.

По реакции (ж) происходит процесс восстановления двуокиси углерода. Этот процесс, в отличие от всех остальных, идет с поглощением тепла.

В результате взаимодействия реагирующих масс на поверхности раздела двух фаз концентрация их в пограничном слое уменьшается, а концентрация продуктов реакции увеличивается. Таким

образом, при горении углерода у его поверхности образуется пограничный газообразный слой, в состав которого входят продукты горения CO и CO_2 .

Этот слой препятствует проникновению кислорода к углероду и скорость их реагирования будет зависеть от скорости диффузии кислорода через пограничный слой.

В процессе горения различных горючих веществ, в том числе и углерода, различаются две стадии — окисление и горение. Переходом из стадии окисления в стадию горения является самовоспламенение.

Поглощение кислорода начинается с самых незначительных концентраций его в смеси с азотом как при температуре 25°C , так и при более высоких. При этом было замечено, что большинство углей поглощает больше кислорода после предварительного нагрева; наиболее энергичное поглощение кислорода наблюдается в начале процесса окисления.

Процесс сухой перегонки, заключающийся в возгонке летучих продуктов посредством нагревания угля без доступа кислорода, имеет место при пожарах в целиках угля.

Газовыделение при сухой перегонке каменного угля происходит по следующей схеме. При нагревании угля до 200°C выделяется незначительное количество преимущественно абсорбированных углем газов, содержащих O_2 , и в зависимости от рода угля метан и следы окиси углерода. С дальнейшим повышением температуры до 300°C прекращается всякое газообразование. Выделение газообразных продуктов продолжается при температуре, превышающей 300°C , а интенсивное газовыделение начинается при температуре 345°C . При этом выделяется кроме кислорода и углеродов также и окись углерода.

Температура возгорания донецких и кузнецких каменных углей, не затронутых окислением, колеблется в зависимости от марок от 300 до 400°C .

§ 3. ВОСПЛАМЕНЕНИЕ И ГОРЕНИЕ ДРЕВЕСИНЫ

Под воздействием теплового импульса древесина воспламеняется на небольшой площади, а затем в зависимости от термической подготовки горючих материалов и притока воздуха распространение горения ускоряется и может достигнуть значительных размеров.

Реагирующие вещества при горении древесины взаимодействуют в газообразной среде (горение летучих) и на поверхности твердого вещества (горение угля). Эта реакция при горении древесины иногда протекает совместно. Самонагревание и самовозгорание древесины в подземных выработках весьма редкое явление (зарегистрировано три случая), а поэтому воспламенение и горение древесины происходит преимущественно за счет внешнего источника тепла.

Разложение древесины под воздействием тепла начинается при температурах выше 100°C и в значительной мере зависит от температуры и продолжительности нагревания. Например, нагревание древесины в течение 1 ч при температуре около 300°C не изменяет ее физические качества, за исключением гигроскопичности.

При прогревании до 110°C древесина подсушивается и происходит незначительное испарение смолы. При 150°C и выше происходит заметное разложение древесины. Главной составной частью продуктов разложения древесины, нагретой до температуры 200°C , является углекислый газ и водяные пары, которые способны гореть. Разложение клетчатки — главной составной части древесины происходит при температуре древесины 200°C и выше. Продуктами разложения клетчатки являются главным образом окись углерода, углеводороды, водород и пары органических веществ, которые в соприкосновении с пламенем или нагретыми телами (тепловой импульс) воспламеняются. Температура нагрева древесины, при которой происходит ее воспламенение, $250\text{—}300^{\circ}\text{C}$.

В период интенсивного разложения древесины (при температурах от 200 до 400°C) из нее выделяется основная масса всех газообразных продуктов разложения (около 38%). С момента начала разложения древесины и в процессе горения состав ее постепенно изменяется, что оказывает существенное влияние на механизм горения. Так, начиная с периода бурного разложения (200°C), удельный вес углерода в составе обуглившейся древесины резко растет и при температуре 500°C достигает 89% , в связи с этим выделение газообразных продуктов из древесины резко сокращается. При этой температуре пламенное горение резко сокращается и усиливается беспламенное горение углерода.

В зависимости от температуры и длительности процесса сухой перегонки древесины количество образующегося угля достигает $30\text{—}40\%$. При свободном выгорании древесины (сюда относится и пожар) количество образующегося угля составляет около 20% .

Около 60% тепла, образующегося при свободном горении древесины, выделяется при пламенном горении и около 40% — в период горения угля.

Пламенное горение протекает в более короткий промежуток времени, чем горение угля, и при этом выделяется большое количество тепла, обеспечивающее более высокую температуру, чем в период горения углерода. В этот период времени происходит наибольшее распространение горения в условиях подземных выработок.

Скорости воспламенения и горения зависят главным образом от породы древесины, ее влажности, размеров ее удельной поверхности, притока воздуха, характера теплообмена и его продолжительности.

Изменение плотности (объемного веса) древесины влияет на скорости воспламенения и горения следующим образом. С увели-

чением плотности древесины скорости воспламенения и горения уменьшаются. Скорость горения определяется потерей веса сгораемого вещества в единицу времени, а скорость воспламенения характеризует распространение горения в горючих материалах.

Влияние плотности древесины на скорость ее воспламенения и горения может быть объяснено различной теплопроводностью. Так, например, при прогревании плотной древесины ее повышенная теплопроводность снижает скорость повышения температуры нагреваемого участка до температуры воспламенения.

Скорости воспламенения и горения древесины разных пород уменьшаются в следующей последовательности: сосна, лиственница, пихта, ель, каштан, бук и дуб. Легкость воспламенения сосны объясняется также высоким содержанием в ней смолистых веществ.

Влажность древесины влияет на скорость ее воспламенения и горения следующим образом. Сухая древесина, сгорая без потерь при достаточном количестве воздуха, может развивать температуру до 1590°C . Однако горение древесины (крепи горных выработок) сопровождается неполнотой сгорания и потерей тепла, вследствие чего температура горения сухой древесины в подземных условиях не превышает $1000\text{--}1025^{\circ}\text{C}$. Наличие влаги в древесине увеличивает потери тепла на ее нагревание, а также увеличивает неполноту сгорания и в значительной степени влияет на воспламеняемость и уменьшает скорость горения.

Древесина, имеющая влажность свыше 35%, весьма трудно воспламеняется и медленно горит. Однако мощный тепловой импульс, например длительная термическая обработка продуктами горения, способен подсушить древесину, и после этого она может нормально воспламениться.

На воспламенение и скорость горения большое влияние оказывает также размер удельной поверхности древесины — отношение обнаженной поверхности F к ее объему V . Древесина с наиболее развитой поверхностью, у которой $F:V$ наибольшее, легче воспламеняется и быстрее горит, чем при менее развитой поверхности (при меньшем $F:V$).

Древесина с гладкой (строганой) поверхностью воспламеняется труднее, чем древесина с шероховатой поверхностью. Распиленная или расколота стойка легче воспламеняется вследствие возрастания величины $F:V$ (рис. 11).

Скорость горения зависит также от скорости движения воздуха, поступающего к горящей древесине.

В относительно спокойном воздухе длина пламени горящей древесины определяется скоростью конвекционного потока газов. При этом увеличение скорости движения воздуха усиливает приток кислорода в зону окисления, а длина пламени возрастает. В этих условиях большая поверхность древесины подвергается термической обработке (подготовка к воспламенению), в связи с чем интенсивность горения возрастает.

Высокая скорость движения воздуха (рис. 12) может привести к частичному охлаждению продуктов сгорания древесины и замедлить прогрев смежных участков древесины.

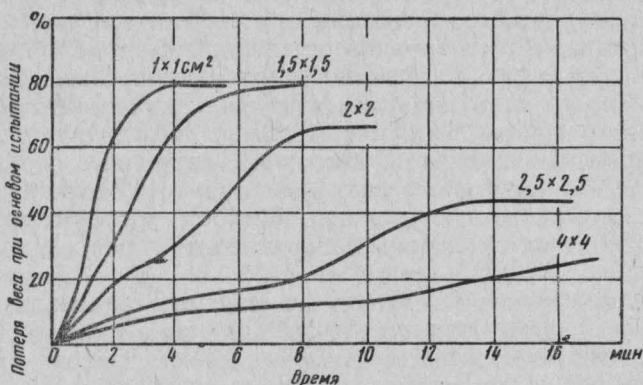


Рис. 11. Скорость горения брусков древесины длиной 100 см и различного поперечного сечения

Распространение пламени по поверхности горящего материала находится в значительной зависимости от характера теплоотдачи очагом горения соседним поверхностям. Наилучшее распространение горения происходит по направлению движения пламени. При передаче тепла только радиацией распространение горения происходит значительно медленнее.

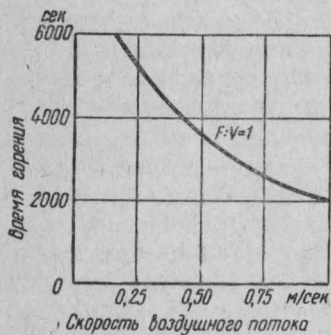


Рис. 12. Скорость горения брусков древесины в зависимости от скорости движения воздуха

Распространение пламенного горения по наклонной или вертикальной поверхности происходит значительно быстрее снизу вверх. При этом негорящая поверхность подогревается за счет тепла, передаваемого от горящей поверхности, теплопроводности, радиации и нагретых продуктов горения. Значительно медленнее распространяется горение сверху вниз, так как в этом случае скорость нагрева определяется теплом, передаваемым от горящей поверхности радиацией и теплопроводностью.

С уменьшением теплоотдачи от горящей поверхности горение ускоряется.

§ 4. ГОРЕНИЕ РЕЗИНОВЫХ МАСС

Резиновые массы в подземных выработках встречаются в изоляционных оболочках отдельных жил и всего кабеля, конвейерных лентах и прорезиненных вентиляционных трубах. Для оболочек

жил кабеля и всего кабеля резиновая масса применяется монолитной, а для конвейерных лент и вентиляционных труб применяется в смеси с текстильными материалами.

В состав этих масс обычно входят следующие вещества: натуральный каучук, искусственный (синтетический) каучук, мягчители и различного рода наполнители, имеющие назначение снизить горючесть массы. Такие составы, как правило, непостоянны.

Наиболее горючей частью резиновой массы являются каучук и мягчители. Разложение каучука начинается при температуре 280°C . При горении натурального каучука выделяется большое количество тепла ($10,5 \cdot 10^6$ Дж/кг). Поэтому для уменьшения горючести резиновой смеси в состав ее вводят минимальное количество каучука и мягчителей. В большинстве случаев содержание каучука в таких смесях не превышает 20 объемов на 100 объемов смеси.

С применением синтетических каучуков и заменителей каучука появилась возможность получения огнестойких смесей. Так, неопрен воспламеняется труднее, чем натуральный каучук. При его горении выделяется хлористый водород, который затрудняет горение. Хлорвиниловые полимеры обладают достаточными эластическими свойствами, содержат больше хлора, чем неопрен, и значительно труднее воспламеняются. Они пригодны для покрытия тканей.

Огнестойкость резиновой смеси определяют часто следующим способом. Приготовленный образец сечением $3,75\text{ см}^2$ закрепляют на раме под углом 45° к горизонтальной плоскости. Под центральной частью образца устанавливают небольшой тигель так, чтобы основание его было на 15 см ниже средней части образца. В тигель наливают 30 мл абсолютного спирта. Это горючее зажигают от небольшого пламени, которое сразу же удаляют. В тигле спирт сгорает в течение 45 сек. Если образец в процессе испытания загорается, отмечают время, когда он загорелся и когда перестал гореть, и измеряют обуглившуюся площадь образца.

Для оценки огнестойкости резиновой смеси применяют классификацию 1, 2 и 3 балла. Огнестойкость невоспламеняющейся смеси оценивается в 1 балл. Двумя баллами оценивается очень мало воспламенившаяся (обугливание распространяется больше чем на 5 см в поперечном направлении) резиновая смесь. Слабое воспламенение (обугливание распространяется не более чем на 7,5 см в поперечном направлении) резиновой смеси оценивается 3 баллами.

Определение огнестойкости резиновой смеси, применяемой для электрических кабелей и шнуров, определяется ГОСТ 2068—54.

§ 5. ВОСПЛАМЕНЕНИЕ МАСЕЛ

Температура воспламенения масла промышленное $20\text{—}170^{\circ}\text{C}$.

Значительно большую опасность представляет трансформаторное масло, которое применяется в электрических приборах как диэлектрик.

Согласно требованиям ГОСТов (6355—52, 5533—42 и др.), трансформаторное масло, применяемое в подземных электрических аппаратах, должно воспламеняться при температуре не ниже 135°С; температура замерзания должна быть не выше —45°С.

Трансформаторное масло не должно содержать воду. Незначительная примесь воды к маслу, легко поглощающему влагу из воздуха, весьма существенно снижает его диэлектрическую прочность, способствуя этим самым возникновению электрических дуг и коротких замыканий между фазами. При этом масло разлагается с выделением водорода и других газов, а также паров, способных образовать взрывчатую смесь. При благоприятных условиях (снижение уровня масла, загрязнение и т. д.) может возникнуть взрыв и воспламенение масла.

Поэтому трансформаторное масло, применяемое в электрических аппаратах (согласно требованиям § 593 Правил безопасности) должно проверяться на диэлектрическую прочность и на соответствие его физико-химических свойств. Сроки проверки трансформаторного масла следующие: перед заполнением в приборы и находящегося в аппаратах на диэлектрическую прочность — через 3—6 месяцев, а на физико-химические свойства — один раз в год.

Горение масел, как и других жидкостей, происходит в однородной газовой среде.

Все горючие жидкости, в том числе трансформаторные и индустриальное 20, способны при нагревании испаряться, а продукты испарения, будучи в достаточном количестве, могут воспламеняться и гореть.

§ 6. ИЗМЕНЕНИЕ СОСТАВА ВОЗДУХА ПРИ ГОРЕНИИ ТВЕРДЫХ И ЖИДКИХ МАТЕРИАЛОВ

Продукты горения угольной пыли. При определенных условиях в подземных выработках шахт, не опасных по газу, может происходить воспламенение только одной угольной пыли, а в шахтах, опасных по газу, — взрывы пыли в смеси с горючими газами.

При взрыве угольной пыли состав воздуха может быть следующий: а) при полном сгорании 20% CO_2 , 80% N_2 ; б) при неполном сгорании 40% CO , 60% N_2 .

Практически при взрывах угольной пыли протекают смешанные реакции, в которых участвуют горючие газы. Поэтому наблюдаемый состав рудничного воздуха после взрыва угольной пыли в шахтах, опасных по газу, примерно такой же, как и при взрывах газов, а в шахтах, не опасных по газу, в составе рудничного воздуха отсутствуют метан и водород.

Примерный состав рудничного воздуха после взрыва угольной пыли в негазовой шахте следующий: 19,6% O_2 , 1% CO_2 , 0,2% CO и 79,2% N_2 .

Продукты горения угля и древесины. Состав рудничного воздуха при подземных пожарах изменяется вследствие расхода

кислорода на окислительные процессы, образования газообразных продуктов окисления и термического разложения угля и древесины (деревянной крепи).

Газообразование при подземных пожарах происходит различно и зависит от состояния пожарного очага.

Газообразование при слабом нагревании и самонагревании угля и дерева. В результате самонагревания и нагревания угля и дерева происходит возгонка летучих продуктов.

При нагревании угля до 200°C выделяются водяные пары и незначительное количество преимущественно абсорбированных углей газов (углекислый газ, метан и следы окиси углерода). С повышением температуры угля соотношение между количествами выделяющихся углекислого газа и окиси углерода резко изменяется — при температуре до 400°C оно равно 4; от 500 до 800°C — $0,33$ — $0,25$. При нагревании угля до температуры от 800 до 1000°C выделяются газы CO , H_2 , CH_4 .

При нагревании древесины до 170°C выделяются преимущественно водяные пары, при температуре от 170 до 270°C происходит заметное разложение древесины с выделением CO , CO_2 и паров уксусной кислоты; от 280 до 380°C выделяются легкие смолы и углеводороды; от 380 до 500°C выделяется незначительное количество парообразных продуктов сухой перегонки, образуется тяжелая смола, уменьшается выделение углекислого газа и окиси углерода, заметно возрастает выделение углеводородов (метана, этана, этилена и т. д.); от 500 до 700°C летучие продукты разлагаются с образованием значительного количества водорода.

Газообразование при горении угля и древесины в подземных выработках. Горение угля и древесины в подземных выработках включает подсушку, возгонку летучих продуктов и их окисление, горение коксового остатка и газификацию. При окислении газовых продуктов дистилляции угля и древесины (CO , H_2 , CH_4 , C_2H_4) образуются углекислый газ, водяные пары и окись углерода с выделением большого количества тепла.

Интенсивность пожара характеризуется горением углерода, так как твердый углерод в угле и древесине составляет основную горящую массу. Как отмечено ранее, в результате взаимодействия раскаленного углерода с углекислым газом образуется окись углерода. Эта реакция (ж) восстановления протекает заметно при температуре 900°C и выше. Углерод с водяным паром взаимодействует при температуре 1200 — 1300°C .

Процессы окисления углерода, а также серного колчедана FeS_2 кислородом относятся к первичным реакциям. Процессы восстановления углекислого газа, горение окиси углерода, водорода, метана и этилена относятся к вторичным реакциям.

В рудничной атмосфере при горении угля и древесины в подземных выработках уменьшается содержание кислорода, расходуемого на окислительные процессы, и увеличивается содержание углекислого газа и водяных паров.

При полном использовании кислорода воздуха при сгорании угля, содержащего серный колчедан, состав газов, исходящих из пожарного участка, может быть следующим: 75,8% N_2 , 15,5% CO_2 , 8,5% H_2O (пар) и 0,2% SO_2 .

Продукты горения резиновых масс. Продукты разложения и горения резиновой массы трудно определить заранее, так как часто бывает неизвестен точный состав резиновой смеси, применяющейся для разных поделок.

В результате разложения каучука (натурального) выделяются легковоспламеняющиеся вещества — изопрен, депрен и пр. Состав выделяющихся газов может быть весьма различным ввиду сложности состава компонентов резиновой смеси, в которой содержатся также хлор, сера и азот. При огнестойкой резиновой смеси можно ожидать выделение окиси углерода, хлора, соляной кислоты (паров), фосгена, окислов азота, сероводорода, окислов серы, аммиака паров цианистоводородной кислоты, а также арсина и фосфина.

Состав шахтного воздуха при подземных пожарах. Если в подземных условиях воздух к очагу пожара поступает непрерывно, то кислород воздуха не весь принимает участие в окислительных процессах. Например, в выработанном пространстве шахты первой категории по газу в процессе самонагревания угля состав рудничного воздуха изменялся следующим образом: количество O_2 снижалось до 18%, CO_2 достигало 2,2%, CO — 0,002—0,1%, CH_4 — 0,2—1,2%. При пожаре от открытого огня в подземных выработках шахты первой категории по газу состав рудничного воздуха при нормальном проветривании был следующим: 4% CO_2 , 16% O_2 , 0,25% CO , сумма горючих газов 2%.

Через 3 ч после остановки вентилятора, проветривавшего этот пожарный участок, состав рудничного воздуха изменился: 11,6% CO_2 , 3,6% O_2 , 1,025% CO , сумма горючих газов 2,45%.

§ 7. СОСТАВ ГАЗОВ В ИЗОЛИРОВАННЫХ ПОЖАРНЫХ УЧАСТКАХ

Состав шахтного воздуха в изолированных пожарных участках непрерывно изменяется.

В течение некоторого времени после изоляции продолжается горение, сопровождающееся процессами газификации и сухой перегонки, вследствие чего в воздухе изолированного участка уменьшается содержание кислорода и увеличивается содержание газообразных продуктов горения и сухой перегонки. После уменьшения содержания кислорода до 12% процесс горения ослабевает и температура понижается; при этом процессы газификации и сухой перегонки продолжают. При температуре 500—600 °C газообразование происходит преимущественно за счет низкотемпературной сухой перегонки. Газовыделения из пород и угля в изолированном участке, если они имели место до изоляции, продолжают без изменений.

Процессы восстановления углекислого газа в изолированном пожарном участке происходят интенсивно, но с понижением температуры горючих материалов ослабевают и при температурах ниже 800 °С практически прекращаются.

Образование СО из СО₂ зависит от продолжительности контакта углекислого газа с раскаленной поверхностью кокса и температуры последнего. Чем кратковременнее контакт, тем меньше образуется СО при одной и той же температуре кокса, и чем выше температура кокса, тем больше образуется СО из СО₂ при одинаковой продолжительности контакта.

На образование СО и СО₂ влияет также природа самого горючего. Например, при контакте (продолжительностью 5 сек) углекислого газа с раскаленной поверхностью древесного угля, имеющего температуру 1100 °С, СО₂ почти полностью превращается в СО, а при контакте (той же продолжительности) углекислого газа с раскаленной поверхностью кокса или антрацита образуется только соответственно 50 и 45 % окиси углерода.

При пропускании газовой смеси, содержащей 21 % СО₂ и 79 % N₂, через раскаленный слой кокса, если весь углекислый газ в результате реакции $\text{CO}_2 + \text{C} \rightarrow 2\text{CO}$ превращается в 42 объема СО (2×21), в составе новой газовой смеси будет 34,7 % СО и 65,3 % N₂.

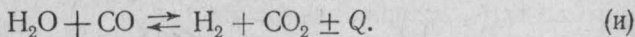
Количество СО₂ и СО, образующееся при полном расходе кислорода в результате пропускания воздуха через раскаленный кокс, представлено в табл. 10.

Т а б л и ц а 10

Температура кокса, °С	Концентрация, % (по объему)	
	СО ₂	СО
495	19,0	1,6
700	19,3	2,5
800	17,3	5,9
900	10,1	15,8
1000	0,1	34,2

Если в очаге пожара температура равна 900 °С, то пожарные газы имеют следующий состав: 9,5 % СО₂, 15,1 % СО и 75,4 % N₂.

Конечными продуктами реакции углерода с водяным паром являются Н₂О, СО, СО₂ и Н₂. При достаточном количестве времени для взаимодействия эти продукты могут рассматриваться находящимися в состоянии динамического равновесия друг с другом:



Водяные пары, взаимодействующие с раскаленным углеродом, разлагаются полностью при высокой температуре, имеющей при этом большее значение, чем фактор времени. Большое влияние на разложение паров воды оказывают также теплопроводность,

пористость и каталитический эффект минеральных примесей топлива.

Анализы проб газов, набранных в изолированных пожарных участках, позволяют установить только приблизительно состав рудничного воздуха в них.

В шахтах, не опасных по газу, состав рудничного воздуха в изолированных пожарных участках изменяется преимущественно за счет окисления, газификации и сухой перегонки горючих материалов.

Газообразования в изолированных участках в ранние периоды самонагрева резко отличаются от более поздних, когда температура горючих материалов доходит до 500 °С.

Состав атмосферы в изолированных пожарных участках на шахтах, не опасных по газу, зависит от стадии пожара и условий изоляции. Когда при изоляции быстро прекращается горение и температура повышается незначительно, в состав шахтного воздуха входят N_2 и CO_2 и небольшие количества O_2 и CO . Если изолирован участок с разгоревшимся пожаром, сильно падает содержание O_2 , увеличивается содержание CO_2 , CO , H_2 , CH_4 , C_mH_n и H_2O (пар).

Концентрация газов в изолированных пожарных участках изменяется в следующих пределах: O_2 — от нескольких процентов до долей процента; CO_2 — от долей процента до 15—20%, CO — от следов до 5,8%, H_2 — от долей процента до 8—10%, CH_4 — от 1 до 5—10%, C_2H_4 — от следов до 0,5%, C_2H_2 — от следов до 0,2%, H_2S , NH_3 и углеводороды бензольного ряда C_mH_{2n-6} иногда встречаются в виде следов.

Количество CO значительно возрастает при горении дерева, так как дерево дистиллируется при более низких температурах; CO выделяется в 3—4 раза больше, чем при дистилляции каменного угля.

Горючие газы CO , H_2 , CH_4 — продукты дистилляции древесины и каменного угля вместе с кислородом воздуха часто образуют взрывчатые смеси.

В шахтах, опасных по газу, изменение состава рудничного воздуха в изолированных участках зависит от газообразования в результате окислительных процессов, газификации и сухой перегонки горючих материалов, а также непрерывного газовыделения из угля и пород.

Поэтому на участках этих шахт, изолированных даже без признаков пожара, непрерывно увеличивается содержание метана и уменьшается содержание кислорода.

Состав атмосферы изолированных участков на шахтах, опасных по газу, следующий: при изоляции участка без признаков пожара — CH_4 (основной компонент), CO_2 , N_2 , CO и O_2 ; при изоляции пожарного участка — CH_4 (основной компонент), O_2 , N_2 , CO_2 , CO , H_2 , C_mH_n и H_2O (пар).

Содержание кислорода в обоих случаях непрерывно убывает и может совершенно исчезнуть.

Содержание метана возрастает от нескольких процентов до 100% и зависит от интенсивности выделения его и продолжительности изоляции участка.

При наличии признаков пожара содержание газов CO_2 , CO , H_2 и C_mH_n зависит от состава горючих материалов, их объема, степени развития пожара и объема изолированного пространства. Чем выше температура и больше объем нагретых материалов, тем выше содержание указанных газов.

СПОСОБЫ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И РАЗВИТИЯ ПОЖАРОВ В ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ

Борьба с пожарной опасностью в выработках горнодобывающей промышленности проводится в различных основных периодах ее проявления и имеет следующие стадии: предупреждение возникновения опасных тепловых импульсов, воспламенения материалов, распространения возникших пожаров и ликвидация (тушение) возникших пожаров.

Основные положения и требования по предупреждению возникновения и развития подземных пожаров изложены в Правилах безопасности в угольных и сланцевых шахтах (1964 г.) и в приложениях к ним.

Глава IV

ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ОПАСНЫХ ИМПУЛЬСОВ ТЕПЛА В ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ

Из анализа результатов исследований многих авторов следует, что склонность угольного пласта к самонагреванию не постоянна и зависит от его физико-химических свойств. Так, в местах геологических нарушений склонность угля и пород к самонагреванию значительно возрастают.

Повышение температуры пород и угля на более глубоких горизонтах даже при прочих равных условиях, которые существуют в шахтах, активизирует реакцию окисления и уменьшает продолжительность инкубационного периода при самонагревании, т. е. увеличивает пожароопасность. Таким образом, возможность самонагреваний по мере перенесения горных работ на более глубокие горизонты будет возрастать.

§ 1. ВВОДНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Внешние (физико-технические) условия, способствующие самонагреванию углей и углистых пород, создаются при следующих обстоятельствах:

1) оставлении разрыхленного угля и углистых пород в выработанном пространстве; 2) оставлении предохранительных целиков

угля недостаточных размеров; 3) оставлении неизолированных целиков угля с геологическими нарушениями; 4) оставлении в выработанных пространствах обнаженных слоев углесодержащих пород (нерабочие слои угля), располагающихся в почве или кровле пласта; 5) недостаточной герметичности изоляции выработанных пространств и целиков угля; 6) допущении значительной разности депрессии при движении воздуха по параллельным выработкам, разделенным целиком угля или выработанным пространством.

В настоящее время не представляется возможным существенно изменить физико-химические свойства углей и других материалов, способных самонагреться в подземных выработках. Поэтому для предупреждения самонагрева материалов, встречающихся в горных выработках, остается единственное средство — регулирование физико-технических условий, которые создаются в результате разработки полезного ископаемого.

Самонагревание угля и углистых пород необходимо предупреждать выбором менее безопасных способов вскрытия, подготовки пласта и систем разработки, а также применением герметичной изоляции выработанных пространств, рациональной схемы проветривания, при которой просос воздуха через толщи углей или углистых пород и через выработанные пространства был бы сведен к минимуму. Проектами должно предусматриваться, чтобы вскрытие и подготовка пластов угля осуществлялись с наименьшей их площадью обнажения.

Выработанное пространство и целики угля должны изолироваться герметично и раньше, чем закончится инкубационный период.

В связи с этим скорость подвигания очистных забоев играет весьма существенное значение. Чем быстрее подвигаются очистные забои, тем больше шансов на своевременную изоляцию выработанных пространств и тем меньше опасность самовозгорания угля в этих участках.

Следует предположить, что намеченное в планах развития угольной промышленности СССР подвигание очистных забоев в течение 1959—1965 гг. не менее 40 м в месяц и доведение его при поточной выемке угля к 1975 г. до 100—200 м в месяц значительно снизит эндогенную пожарную опасность в горных выработках.

§ 2. ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ САМОВОЗГОРАНИЯ УГЛЕЙ

Самовозгорание угля, оставляемого в целиках или разрыхленном состоянии в выработанных пространствах, можно предупредить прекращением окислительных процессов угля; поддержанием замедленных окислительных процессов при нормальном рассеивании тепла; поддержанием нормальных окислительных процессов при увеличенном теплообмене угля с окружающей средой.

Первое условие в некоторых случаях может быть выполнено при изоляции (плотном покрытии) целиков угля. Второе наиболее

легко выполнимо при обработке целиков угля антипирогенными растворами и инертными газами или герметичной изоляции выработанного пространства. В результате этого в атмосфере у реакционной поверхности угля содержание кислорода не должно превышать 8—10%. Опытным путем установлено, что при такой концентрации кислорода окислительный процесс протекает в замедленном темпе, а уголь подвергается выветриванию — он теряет склонность к самонагреванию, а сам процесс аналогичен выветриванию угля у земной поверхности.

Третье условие при расположении угля в слое в глубокой трещине или в изолированном выработанном пространстве невозможно выполнить. Поэтому практически наиболее реальными для выполнения представляются первые два условия.

Несоблюдение этих условий, которые составляют требования Правил безопасности и инструкции по разработке пластов угля, склонных к самовозгоранию, приводит к эндогенным пожарам.

Непосредственным подтверждением этого могут служить часто повторяющиеся случаи эндогенных пожаров в практике угольной промышленности, краткое описание наиболее характерных из них приводим ниже.

В шахте № 3 шахтоуправления № 3—5 «Новый Юнком» треста Орджоникидзеуголь разработка пласта Известнячка в связи с имевшимися случаями самонагревания угля на этом пласте (1956—1957 гг.) была переведена на режим пласта, склонного к самовозгоранию. Однако до 12 ноября 1958 г. требования Правил безопасности в отношении разработки пластов, склонных к самовозгоранию, а также специальные мероприятия, разработанные на шахте, грубо игнорировались. Допускались большие потери отбитого угля в выработанном пространстве (рештаки были проложены не по всей длине лавы), надштрековые целики оставались меньших размеров, чем предусмотрено паспортом, и при мощности пласта 1,8 м легко раздавливались.

Кроме того, с момента пуска в эксплуатацию все гезенки отработанного пространства не изолировались, в результате чего поток воздуха, проникавший через раздавленные и увлажненные целики в выработанное пространство, привел к самовозгоранию угля в надштрековом целике пласта Известнячка.

В лаве участка № 8 шахты «Комсомолец» треста Горловск-уголь пласта Мазурка (самовозгорающийся) произошло обрушение породы кровли, которой был засыпан уголь, находившийся в нижней части лавы. Этот уголь был оставлен в завале, в результате чего произошло самовозгорание угля.

Изоляция целиков угля. Как ранее отмечалось, самовозгорание на поверхности ненарушенного трещинами массива угля невозможно. Благоприятные условия для возникновения самовозгорания появляются при сильной трещиноватости угля и особенно, когда эти трещины заполнены угольной мелочью.

Развитая поверхность в трещиноватом целике угля, образован-

ная густорасположенными трещинами, является лучшим условием для окисления и самонагрева, чем редко расположенные трещины, даже если они сквозные.

При густом расположении трещин в целике угля, что чаще бывает в массивах с геологическими нарушениями, его сорбционная способность к кислороду существенно возрастает, а поэтому активное самонагревание может возникнуть и в коротких трещинах.

В связи с этим для предупреждения самонагрева углей в целиках, склонных и весьма склонных к самонагреванию, а также оставленных с геологическими нарушениями, возникает необходимость в различной их профилактической обработке, изоляция с уплотнением трещин и профилактическая обработка инертными газами, растворами и суспензиями.

Такая изоляция с устранением активных окислительных процессов достигается применением следующих покрытий (рубашек).

Покрyтия из плотно утрамбованной глины, имеющей естественную влажность и толщиной около 0,5 м, применяются довольно часто в угольной промышленности СССР для уплотнения изоляционных сооружений и целиков угля. Для увеличения влажности и поддержания ее в слое глины применяются растворы поваренной соли или хлористого кальция. Добавлениями в слой глины этих растворов увеличивается ее влажность и пластичность на продолжительное время.

Песчаные покрытия применяются главным образом в тех местах, где в горных выработках имеется песок в достаточном количестве (Подмосковный бассейн). Для устройства такого покрытия необходимо применять деревянную обшивку, покрытую штукатуркой. За этой обшивкой песок хорошо уплотняется. Влажный песок наилучшим образом герметизирует покрытие.

Покрyтие с заиливанием трещин целика наиболее часто применяется во Франции, Чехословакии, Польше и других странах. Такое покрытие применимо для всех видов крепи. Сущность этого способа заключается в следующем: пространство между стенкой выработки и крепью заполняется заиловочной массой (пульпой), которая состоит из воды и твердых мелких частиц (глина, инертная пыль, зола, песок и др.), частью этой пульпы будут заполнены трещины целика.

Для приготовления заиливающей смеси применяются твердые негорючие частицы мелких размеров и небольшого удельного веса. Размер твердых частиц необходимо подбирать таким образом, чтобы они проникали на значительную глубину в трещины. Поэтому материал, употребляемый для приготовления заиловочной пульпы (шлак, зола, глина и др.), необходимо пропускать через грохот с отверстиями 4—8 мм.

Материал для заполнения пространства между крепью и стенкой выработки может быть использован и в сухом виде.

Заиливание трещин и покрытие целика угля при деревянной крепи и смешанном профиле крепи (железная и железобетонная с деревянными затяжками) требует оббивки по внутренней стороне крепи полос парусины, назначение которых пропускать воду и задерживать твердые частицы (фильтрация). Такое покрытие устраивают обычно небольшими участками (зонами) — 10—15 м.

После определения зоны заиливания производят следующие работы: поправляют и усиливают крепь выработок, устанавливают трубы для подачи заиливающей смеси, прикрепляют оболочки из парусины для удержания смеси.

Для подачи заилоочной смеси на принятую длину выработки применяются трубы длиной 2—8 м.

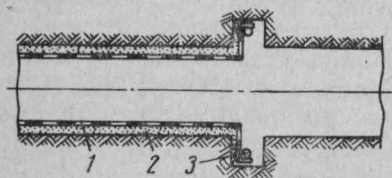


Рис. 13. Схема изоляции целика угля с заиливанием в нем трещин:

1 — парусина, 2 — заилочка, 3 — ниша для уплотнения

На границах (с обеих сторон) заиливаемой зоны делаются расширения (врубы стенок выработки) глубиной около 50 см (рис. 13). Полосы парусины шириной в 1 м растягиваются в продольном направлении и укрепляются с таким расчетом, чтобы их концы обязательно приходились в расширения (границы зоны), а на стыках этих полос происходило перекрытие одной полосы другой (на 10—15 см).

Вначале полосы парусины крепятся на кровле, а затем на стыках. Для удержания заилоочного материала у почвы выработок парусина должна укладываться в виде желобов.

Полосы парусины прикрепляются к крепи при помощи еловых планок размером $2 \times 15 \times 200$ см.

Пространство между стенкой выработки и парусиновой обшивкой вначале забрасывается сухой инертной пылью, глиной или мелкой породой, а после этого туда нагнетается заилоочная пульпа.

Тонкие и слоевые покрытия для уменьшения воздухопроницаемости стенок выработок, перемычек и т. д. в настоящее время внедряются на угольных шахтах как в СССР, так и за рубежом.

В СССР способ и растворометательный аппарат для покрытия поверхности слоем быстротвердеющего раствора разработаны и осуществлены В. Я. Балтайсом и М. М. Кравцовым.

Сущность этого метода заключается в том, что на поверхность наносится слой смеси растворов, которые быстро затвердевают и образуют прочную огнестойкую пленку. Такая пленка не растворяется в воде и обладает незначительной газопроницаемостью. В зависимости от назначения покрытий и условий, в которых будут производиться работы, приготавливается соответствующий раствор в растворометательном аппарате.

В 1952 г. этим способом был ликвидирован многолетний эндогенный пожар в околоствольных целиках шахты № 6/6 «Брянская»

треста Кадиевуголь в Донбассе, возникший над нарушенной бетонной крепью выработок.

Чтобы прекратить поступление воздуха к очагу пожара по трещинам в бетонной крепи стенки (весь периметр) обходного квершлага были покрыты на протяжении 190 м слоем быстросхватывающегося состава толщиной 15—20 мм. В результате этого прекратился просос воздуха через трещины, составляющий около 260 м³/м, и пожар был потушен.

В Чехословакии (Зденек Матушек, 1957 г.) стены выработок и целиков угля уплотняют набрызгиванием химического вещества — латекса. Искусственный латекс «свитлатекс» (хлоропрен) применяется в виде водного раствора (30%).

Для осаждения набрызгиваемого на поверхность стенок раствора латекса к нему добавляют раствор CaCl_2 (15—20) или другие кислые растворы (3%-ный раствор соляной кислоты).

После набрызгивания латекса на поверхности стены образуется его слой толщиной 1—2 мм, который обладает хорошей гибкостью и хорошо прилипает к породе.

Для уплотнения щелей и сопряжений применяется паста, приготовленная из 75—80 частей ила, смешанного с 25—20 частями раствора хлористого кальция (10%). Такая паста не высыхает и не растрескивается, а поэтому может с большой пользой применяться при кладке чураковых перемычек (вместо ила можно применять глину).

Для улучшения герметичности перемычек в Польше также применяют водную эмульсию искусственного каучука. Этой эмульсией здесь было покрыто 11 перемычек, изолирующих очаг пожара. После такой герметизации перемычки даже при весьма значительных перепадах давления практически воздуха не пропускали.

В СССР в Подмосковном угольном бассейне также успешно применяют раствор искусственного каучука (Наирит Л-7) для герметизации стен выработок, перемычек и целиков угля. Для набрызгивания смеси растворов «Наирит» Л-7 и хлористого кальция разработан специальный аппарат РУГ-2.

Герметизация перемычек и стен выработок посредством их гумирования латексом произведена в выработках шахт Подмосковского угольного бассейна — в шахтах № 11 и № 2 «Зубовская» треста Красноармейскуголь, а также в шахте № 38 треста Новомосковскуголь.

Обработка угля антипирогенными растворами и суспензиями применяется для понижения способности угля к окислению. Акад. А. А. Скочинский и проф. С. З. Макаров (1947 г.) рекомендовали снижать сорбционную способность угля к кислороду воздуха применением слабого водного раствора (0,16—0,25%) $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, или водной суспензии $\text{CaCO}_3 + \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$. Таким образом, сорбционная способность угля к кислороду после его обработки уменьшается в 3 раза.

Водная суспензия карбоната кальция в практике угольной промышленности применяется для уменьшения окислительной способности угля в предохранительных целиках угля или при хранении его в штабелях. Известковая суспензия, состоящая из 50% извести и 50% воды, наносится тонким слоем на стенки целиков и на поверхность штабеля.

Более поздние экспериментальные проверки доказали возможность снижения сорбционной способности угля водным раствором (10—15%) хлористого кальция. Эти данные представляют огромный практический интерес в связи с тем, что на некоторых химических заводах водный раствор хлористого кальция является отходом производства, который выбрасывается. В Донбассе, например, такие отходы рационально было бы использовать для предупреждения самовозгораний углей на шахтах треста Лисичанск-уголь.

Исследования по снижению сорбционной способности угля к кислороду воздуха, а также по подавлению начинающегося и возникшего пожаров были проведены в 1955 г. в Кладненском бассейне (Польша). При этом наилучший эффект был получен при обработке угля хлористым кальцием и было установлено, что уголь, поверхность которого была обработана водным раствором CaCl_2 (около 10%) в течение продолжительного времени поглощает кислорода в два раза меньше, чем обыкновенный уголь.

Для сохранения этого эффекта на более длительный срок раствор CaCl_2 смешивался с тонкоизмельченным илом. Для большей стабильности слоя покрытия иногда добавляли сгущенную суспензию лигнита.

Кроме покрытия поверхности угля раствором CaCl_2 было проведено исследование по пропитке целика угля этим раствором, подаваемым под давлением около 15 ат через специальные трубки, вставленные в шпury.

Для пропитывания угольных целиков в них были пробурены шпury длиной от 1 до 4 м. Глубину шпуров и расстояние между ними изменяли в зависимости от крепости, трещиноватости и температуры целика угля.

Расход раствора CaCl_2 на 1 м² поверхности угля в пласте при пропитывании составлял от 50 до 250 л, а на покрытие — от 5 до 10 л. Толщина слоя покрытия 2—3 мм.

На многих шахтах Кладненского угольного бассейна такой обработкой угля достигли хороших результатов в снижении активности угля к окислению. Так, например, в шахте им. Готвальда пропитыванием целика угля удалось приостановить активное окисление угля (температура была снижена с 58 до 32 °C). Для достижения этих результатов на площади 260 м² было пробурено 133 шпура глубиной 2—2,5 м и израсходовано на нагнетание через них около 40 000 л раствора CaCl_2 .

Согласно результатам экспериментальных исследований, проведенных В. М. Маевской (1961 г.), сорбционную способность угля

к кислороду можно снизить обработкой его водным раствором гашеной извести (1—5%).

Профилактическое заиливание выработанных участков. В некоторых угольных бассейнах СССР, главным образом в шахтах Средней Азии, Кузбасса и Урала, для защиты особоопасных пластов угля от самовозгорания применяют профилактическое заиливание выработанных пространств.

Сущность этого способа предупреждения самовозгорания заключается в подаче пульпы в изолированное пространство выемочных участков.

При разработке верхних горизонтов пульпа в выработанное пространство подается через скважины, пробуренные с поверхности.

Участки, расположенные на более глубоких горизонтах, заиливаются по проложенным в подземных выработках центральным трубопроводам, от которых по ответвлениям труб заиловочные материалы направляются на вентиляционные горизонты, а оттуда в выработанные пространства. Материалом для составления заиловочной пульпы служит вода, глина, суглинки и песок.

Методикой ИГД АН СССР, учитывающей существующие способы приготовления, транспортировки и осаждения пульпы в выработанном пространстве, были определены оптимальные соотношения материалов, составляющих пульпу, для шахт Прокопьевско-Киселевского района (Кузбасс). Согласно этим определениям, соотношение твердой и жидкой части пульпы в зависимости от состава и удельного веса твердой части должно быть в пределах от 1:6 до 1:3.

Для предупреждения самовозгорания углей в Прокопьевско-Киселевском районе в выработанные пространства подается практически от 4 до 10% глины в целике от объема вынутого угля. В этом случае затраты на профилактическое заиливание составляют около 1 руб. на 1 т добытого угля.

Работы по профилактическому заиливанию осуществляются в следующей последовательности. Каждый отработанный участок изолируется перемычками от других действующих выработок и через пробуренные скважины в выработанное пространство подается пульпа. При подземном заиливании для осветления воды, вытекающей из-за перемычек, применяют фильтрующие перемычки (рис. 14), устанавливаемые на расстоянии 0,7—1,0 м от основной.

В вопросе о роли профилактического заиливания в снижении окислительных процессов угля в выработанных пространствах существует два основных мнения.

Одна группа исследователей, не принимая во внимание антипирогенных свойств заиловочной пульпы, считает ее дополнительным средством изоляции выработанного пространства. В связи с этим для герметичной изоляции выработанного пространства они рекомендуют подавать пульпу со стороны откаточного штрека. Исходя из этих соображений рекомендуется создавать воздухо-

непроницаемую зону над откаточным штреком (предложение В. Ф. Парусимова) и заиливание части основного штрека и выработанного пространства над ним на 10 м (предложение ВостНИИ).

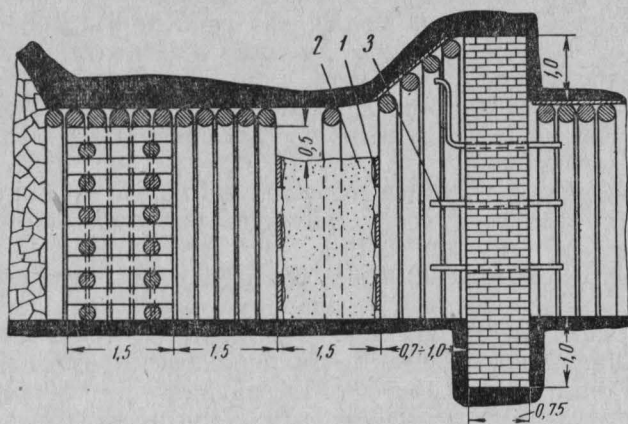


Рис. 14. Схема фильтрующей перемычки для заиливания участка:

1 — металлическая сетка, 2 — шлак, 3 — трубы

Схема изоляции отработанного участка со стороны основного штрека предусматривает установку чураковой перемычки в 10—

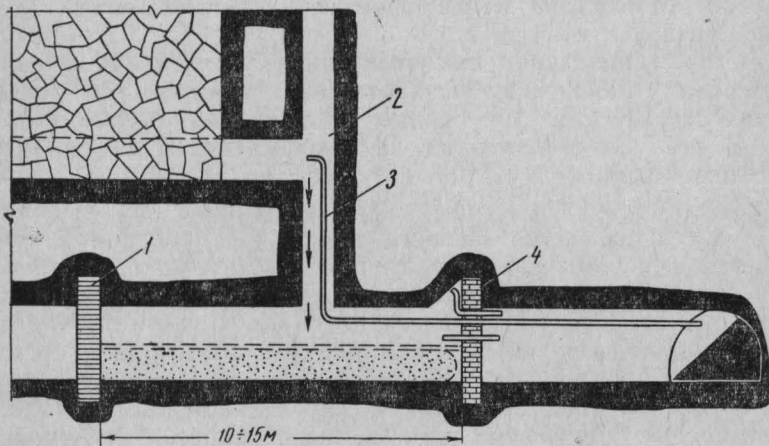


Рис. 15. Схема создания воздухонепроницаемой зоны над откаточным штреком:

1 — чураковая перемычка, 2 — скат или ходовая печь, 3 — подземный пульпопровод, 4 — кирпичная перемычка

15 м от основной кирпичной перемычки (рис. 15). Пространство между кирпичной и чураковой перемычками заполняется с помощью подземного пульпопровода. Вода стекает через трубы

в кирпичной перемычке. После заполнения основного штрека заилочной пульпой подземный пульпопровод отсоединяется и подсоединяется шламовый насос. Этим насосом под давлением в 8—10 ат начинают нагнетать за перемычку пульпу состава 1:1 или 1:1,5 до полного заполнения глиной основного штрека и прилегающих к нему выработок (ската или ходовой печи) на высоту 6—8 м от основного, первого параллельного штрека, трещин и куполов в надквершлаговом целике угля. Такое подыливание выработок со стороны основного штрека может значительно сократить поступление воздуха в выработанное пространство, а следовательно, и замедлить окислительные процессы.

Другая группа исследователей считает, что пульпа обязательно должна приходить в контакт с обнаженной поверхностью угля и при этом выполнять роль ингибитора, оказывая торможение на окислительные процессы. Образованные при этом защитные пленки на поверхности угля будут препятствовать как выходу окклюдированных газов из угля, так и проникновению кислорода воздуха к этим поверхностям. Кроме того, также предполагается, что пульпа должна заполнять трещины и пустоты в целиках выработанного пространства, снизив этим самым поступление воздуха в участок, а повышенное насыщение воздуха водяными парами должно выровнять и стабилизировать температуру в участке. Согласно этой концепции, выработанное пространство должно максимально, насколько возможно, проиливаться. Исходя из этого мнения и производится профилактическое заиливание.

ВостНИИ были проведены специальные исследования (В. М. Маевская, Т. Д. Коровин, Л. П. Томашевский, А. П. Широков и А. Б. Захаров, 1959 г.) с целью выявления влияния заилочной пульпы при профилактическом заиливании на изменение активности окисления угля в выработанных пространствах.

Результаты этих исследований показали, что в течение 1956—1958 гг. количество пожаров удвоилось по сравнению с 1953—1955 гг. при росте подземной добычи угля на 8%.

При этом было отмечено, что из общего количества участков, выработанные пространства которых не подвергались профилактическому заиливанию, а их угли относятся к опасным по самовозгоранию, эндогенные пожары возникли на 30,7% участках, а на остальных участках (69,3%) пожаров совсем не возникло.

Из числа же пожаров, возникших в 1953—1957 гг. в шахтах Прокопьевского района, около 28% возникло на участках, подвергавшихся профилактическому заиливанию. В 1959 г. эндогенные пожары на таких участках составили около 50%.

Наблюдениями, проведенными в шахтных условиях в 1953—1957 и 1958 гг. сотрудниками ВостНИИ, установлено, что средний состав пульпы в летний период составлял около 1:7, а в зимний период значительно отличался от оптимального (1:6 до 1:3) и составлял в среднем 1:15—1:20.

Пленкообразование же в зависимости от состава пульпы

изменяется следующим образом. При составе пульпы от 1:6 до 1:20 количество оседающих из нее твердых частиц, которые образуют пленки на кусках породы, незначительно. Пленкообразование резко улучшается при составе пульпы от 1:6 до 1:2. Небольшой вязкостью обладает пульпа состава 1:2 и выше. С изменением состава до 1:8 вязкость пульпы резко уменьшается. При изменении состава пульпы от 1:8 до 1:16 ее вязкость изменяется незначительно. Стабильность свойств пульпы резко уменьшается при изменении составов от 1:2 до 1:8. На основании этих результатов исследователи приходят к выводу, что количество осаждающихся твердых частиц в виде пленок на поверхности угля при составах пульп от 1:7 (летнего периода) до 1:20 (зимнего периода) незначительно.

В результате исследований влияния заилочной пульпы на изменение склонности угля к окислению выявлено, что угли, подвергавшиеся воздействию пульпы, более склонны к самонагреванию, чем натуральные угли. Реакция окисления у углей, подвергавшихся воздействию пульпы, протекает интенсивнее, чем у углей, не подвергавшихся такому воздействию. При этом обнаружено, что чем меньше первоначальная степень склонности угля к самонагреванию, тем меньше сказывается влияние пульпы.

Экспериментально было установлено, что развитие процесса самонагревания угля находится в зависимости от консистенции пульпы. После обработки угля пульпой, консистенция которой менее 1:8, окислительная способность его становится более интенсивной, чем у исходного угля. После обработки угля пульпой консистенции 1:6, 1:4 и 1:2 окислительная способность его уменьшается.

Минеральные примеси, входящие в состав воды и грунта, применяемые для приготовления пульпы, оказывают различное влияние на развитие процесса окисления угля в зависимости от начального состава.

Среди неорганических соединений, содержащихся в пульпе, каталитическими свойствами обладают FeSO_4 , CaO , MgO , K_2O , Na_2O , FeO , а к ингибиторам относятся CaCO_3 .

Затем также опытными исследованиями было установлено, что при добавлении к глинистой пульпе 1% и более гашеной извести каталитические ее свойства нейтрализуются, а степень склонности угля к самонагреванию уменьшается. Способность угля к самонагреванию совсем исчезает при обработке его глинистой пульпой, в состав которой введено 5% и более гашеной извести.

В дополнение ко всему этому обнаружено, что герметичность изоляции после профилактического заиливания отработанных участков достигается в весьма редких случаях.

На основе анализа результатов этого комплекса исследований следует признать, что наиболее рационально применять заилочную пульпу для увеличения герметичности изолированных

пространств путем подыливания участков, прилегающих к перемычкам. Для нейтрализации каталитических свойств пульпы необходимо прибавлять гашеной извести в количестве от 1 до 5% или других ингибиторов.

Профилактическая обработка угля инертными газами. Академик А. А. Скочинский впервые высказал мысль о необходимости разработки новых, более эффективных средств профилактики, в качестве которых должны быть ингибиторы, т. е. инертные газы, пары, растворы или суспензии, которые снижали бы сорбционную способность угля, углистых пород и колчедановых руд к кислороду.

Д. В. Ермузевич в своих работах по тушению пожаров дымовыми газами нашел, что сорбционная способность угля к кислороду после обработки его дымовыми газами снижается в 1,7—2 раза по сравнению с натуральными углями. Дымовые газы, сорбированные углем, в течение продолжительного времени удерживаются в порах угля. Одновременно с сорбцией кислорода из такого угля происходит десорбция углекислоты, в связи с чем уменьшается его сорбционная поверхность и уголь не восстанавливает свою первоначальную сорбционную способность. Это послужило ему основанием для предположения, что дымовые газы могут быть использованы как средство для противопожарной профилактики.

Предложение Д. В. Ермузевича о применении дымовых газов для предупреждения самонагрева угля было проверено опытным путем ВостНИИ (Маевская В. М., 1959 г.) в промышленных условиях.

Предварительными исследованиями было установлено, что сорбционная способность угля к дымовым газам зависит от их состава. Чем выше содержание кислорода в дымовых газах, тем интенсивнее поглощается газ.

При содержании в топочном газе 5,5% O_2 и 12% CO_2 уголь в течение 22 ч поглотил 5,5 мл/г O_2 , а при содержании 8% O_2 и 10% CO_2 поглотил 12,8 мл/г O_2 , т. е. в 2,5 раза больше.

Ниже приведены данные Д. В. Ермузевича, из которых следует, что уголь после обработки его дымовыми газами поглощает тем меньше кислорода, чем больше его было в топочных газах, и наоборот.

Содержание кислорода в топочном газе, %	2,2	5,0	8,0	10,0
Количество поглощенного кислорода углем, мл/г	17,5	6,7	3,6	2,7

Поглощение топочных газов углем происходит наиболее интенсивно в начальный период их контакта (рис. 16), а затем его сорбционная способность к дымовым газам резко уменьшается и становится почти неизменной.

Для предупреждения накопления тепла, выделяющегося при окислении угля, необходимо начальную обработку его производить

дымовыми газами с содержанием кислорода около 5%, так как при такой концентрации кислорода окисление угля протекает весьма медленно. Затем содержание кислорода и углекислоты необходимо изменять в следующем порядке: 8% O₂ и 10% CO₂, 10% O₂ и 8% CO₂, 15% O₂ и 6% CO₂, 17% O₂ и 4% CO₂ и после этого нормальный воздух.

Концентрацию кислорода в дымовых газах необходимо изменять всякий раз после того как наступит неизменность сорбцион-

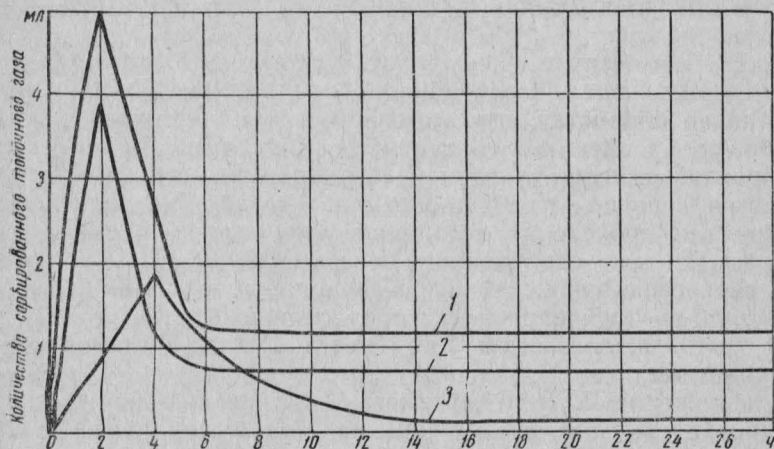


Рис. 16. Сорбционная способность угля к воздуху и топочным газам:

1 — воздух; 2 — 10% CO₂, 8% O₂; 3 — 12% CO₂, 5% O₂

ной способности угля. При этом было замечено, что угли более молодые по химическому возрасту требуют меньше времени на их профилактическую обработку дымовыми газами. Поэтому время, необходимое для насыщения угля топочными газами, необходимо устанавливать в каждом конкретном случае в зависимости от режима обработки и физико-химических свойств угля.

Метод газовой профилактики в промышленных условиях испытывался на участке пласта Мощного шахты им. Калинина (Кузбасс), который отработан горизонтальными слоями с обрушением кровли (рис. 17).

Так, во время проведения работ в очистных забоях участка было обнаружено нагревание угля в верхних отработанных слоях — температура воздуха достигала 25—30 °С. Для предупреждения самовозгорания уголь на этом участке был подвергнут профилактической обработке дымовыми газами.

В начальный период обработки угля в состав топочных газов входило 8—10% O₂ и 8—10% CO₂. Всякий раз установленные концентрации O₂ и CO₂ в топочных газах, подаваемых в участок, поддерживались около 10 дней.

Профилактическая обработка угля этого участка продолжалась

в течение 3 месяцев с перерывами (в 10 дней) при переходе от одной концентрации кислорода и углекислого газа к другой. Всего было подано в участок дымовых газов $6,4 \cdot 10^5 \text{ м}^3$, что составило около 9 м^3 на 1 т извлеченного угля из этого участка.

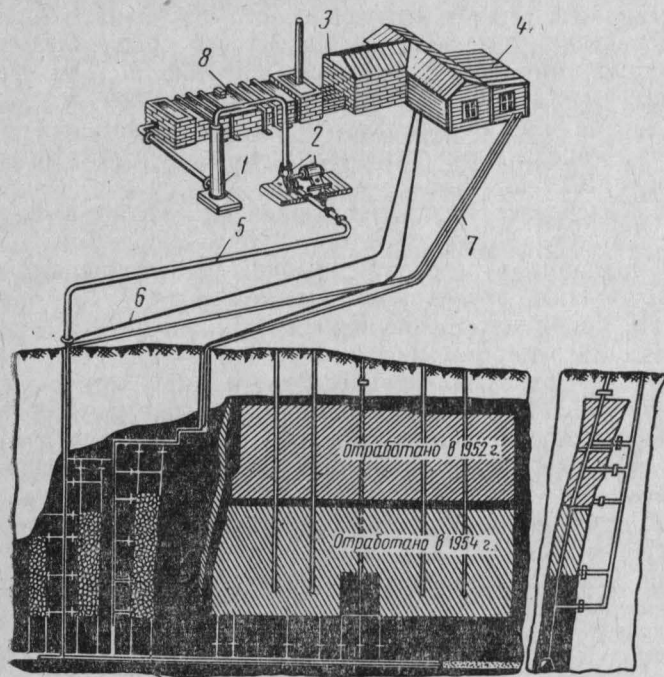


Рис. 17. Схема экспериментальных участков и газовой установки для испытания метода газовой профилактики:
1 — скруббер, 2 — вентилятор-дымосос, 3 — топочная печь, 4 — лаборатория, 5 — газопровод, 6 — термометры сопротивления, 7 — трубы для отбора газа, 8 — холодильник

После такой обработки угля на этом участке свыше 2 лет не было замечено признаков самонагрева угля.

§ 3. ЗАЩИТА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ ОТ ПЕРЕГРУЗОК

Причиной возникновения опасных тепловых импульсов в электрических сетях является тепло, которое выделяется при протекании тока в неисправных или в неправильно рассчитанных сетях.

При коротких замыканиях вследствие значительного снижения сопротивления изоляции резко возрастает сила тока. Если участки с короткими замыканиями или с длительной электрической перегрузкой не отключаются после необходимой выдержки защитой, то в электросетях развиваются опасные тепловые импульсы, приводящие к пожарам.

Утечки «на землю» в электрических сетях также являются результатом снижения сопротивления изоляции и могут вызвать опасные тепловые импульсы.

Поэтому предупреждение опасных тепловых импульсов должно заключаться главным образом в защите сети от перегрузок, коротких замыканий и утечек электрического тока «на землю».

Статистические данные показывают, что среди электрического оборудования наибольшей пожароопасностью обладают электрические кабели: в СССР в течение 1946—1962 гг. количество пожаров, возникших от короткого замыкания в кабелях, составило около 72% общего количества пожаров в электросети; в Англии за период с 1929 по 1950 г. — 70%.

Кабель нагревается за счет выделения тепла в проводнике, согласно закону Джоуля-Ленца. Исследованиями Доменака (1949 г.) доказано, что до определенной установившейся температуры проводники нагреваются примерно за 12 ч, а оболочка кабеля до половинного значения установившейся температуры проводника нагревается за 0,5 ч.

Равновесие между электрическими и диэлектрическими потерями в кабеле, а также между теплом, проводимым через диэлектрик на поверхность оболочки кабеля, и его теплоотдачей в окружающую среду наступает при установившейся температуре нагрева жил кабеля до температуры 50—60 °С, которая является до известной степени теоретической величиной. Этот температурный предел (50—60 °С) нагрева жил кабеля принят при расчетах кабельной сети, хотя горным законодательством регламентирован в немногих странах.

Отдельный кабель в сети, имея нагрузку, например, 50—80—90% от продолжительной нагрузки, допустимой с точки зрения нагрева, может подвергаться перегрузкам ограниченной продолжительности, зависящим от перегрузок питаемых им машин или от утечек в сети. При этом максимально допустимая температура проводника принята в качестве критерия безопасности. Эта безопасность обеспечивается значительной разницей между температурами вспышки, горения, возгонки и распада всех материалов, из которых составлен кабель, и температурным пределом (50—60 °С) допустимого нагрева проводника.

Так, например, как отмечалось раньше, при коротком замыкании в гибком электрическом кабеле его оболочка воспламеняется тем легче, чем выше температура нагрева резиновой массы к моменту возникновения этого теплового импульса. При этом весьма существенное значение имеет такая подвеска кабеля в выработках, при которой он хорошо омывается вентиляционным потоком.

Масляные трансформаторы, преобразователи тока и реостаты, имеющие большой объем масла для отвода тепла от активных частей, представляют собой значительную опасность в горных выработках. Влияние перегрузок выявляется непосредственным контролем за температурой перегрева масла. Применение аппара-

туры, автоматически отключающей ток при достижении предельной температуры, позволит значительно снизить пожарную опасность этих установок.

При замене трансформаторного масла негорючими жидкими или сыпучими (кварцевое заполнение) диэлектриками пожарная опасность еще больше уменьшится.

§ 4. ЗАЩИТА СЕТЕЙ ОТ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЙ

Шахтная подземная кабельная сеть является наиболее подверженной коротким замыканиям. При использовании недостаточного сечения жил они могут расплавиться, как обыкновенные предохранители. Поэтому подземная электрическая сеть должна выполняться таким образом, чтобы она могла тепловое действие токов короткого замыкания выдержать в течение весьма непродолжительного времени. С этой целью в узловых точках устанавливают выключающие устройства, которые отключают токи короткого замыкания, прежде чем они смогут произвести разрушение сети.

Короткое замыкание возникает при внезапном соединении проводов электрической цепи. Нагреванием при переходных процессах можно пренебречь из-за малой их продолжительности.

Защита подземных шахтных электрических сетей от коротких замыканий в основном сводится к следующему:

а) электрические сети должны выдерживать термические и динамические нагрузки при максимальных коротких замыканиях, в течение малых интервалов времени действия коротких замыканий;

б) в узловых точках сети должны быть установлены выключатели, автоматически отключающие токи короткого замыкания, прежде чем они успеют разрушить изоляцию;

в) в кабельной сети при минимальных токах короткого замыкания автоматические выключатели должны произвести отключение в достаточно короткое время.

Процессы протекания токов короткого замыкания в сетях переменного и постоянного тока существенно разнятся.

В сетях переменного тока напряжением до 1000 в можно считать, что величина т.к.з. принимает мгновенно установившееся значение и имеет вполне определенное и единственное значение.

В противоположность этому в сетях постоянного тока ток короткого замыкания имеет функциональную зависимость от продолжительности его протекания. Кроме того, на величину т. к. з. большое влияние оказывает индуктивность цепи, состоящей в подземных тяговых сетях из преобразовательного агрегата, питающих и отсасывающих кабелей, контактного провода и возвратной рельсовой сети. Подсчет еще осложняется тем, что индуктивность цепи изменяется во все время нарастания т.к.з. в цепи постоянного тока.

Значения т.к.з. в сетях переменного тока можно определить по формуле

$$I_{к.з} = \frac{U}{R} \left(1 - e^{-\frac{R}{L} T} \right), \quad (4)$$

где U — напряжение выпрямленного тока;
 R — активное сопротивление цепи;
 e — основание натуральных логарифмов;
 L — индуктивность цепи;
 T — продолжительность короткого замыкания.

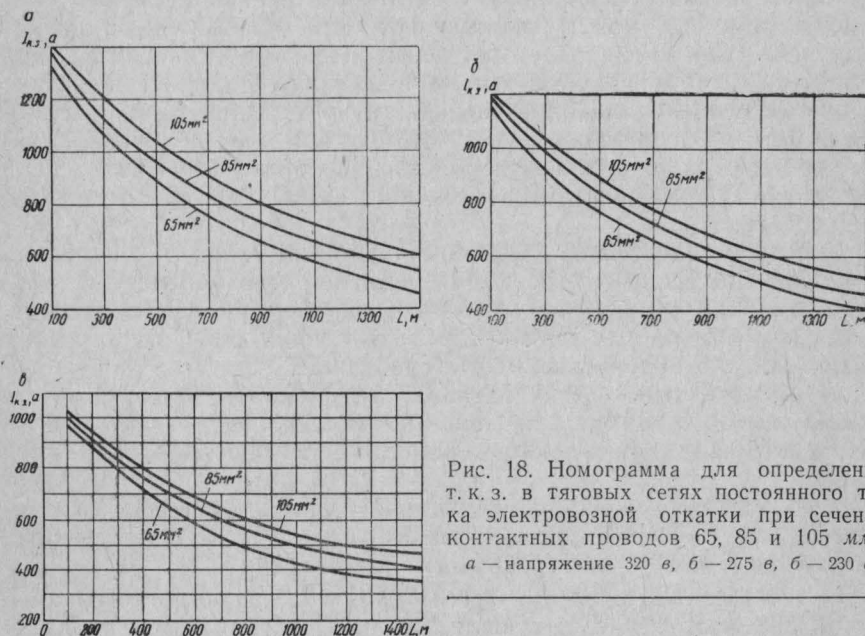


Рис. 18. Номограмма для определения т.к.з. в тяговых сетях постоянного тока электровозной откатки при сечении контактных проводов 65, 85 и 105 мм²:
 а — напряжение 320 в, б — 275 в, в — 230 в

По данным этого уравнения инж. М. М. Хаеш построил номограммы (рис. 18) для расчета т.к.з. в сетях постоянного тока.

Основные положения по защите кабелей и электроустановок от токов короткого замыкания даны в действующих Правилах безопасности в угольных и сланцевых шахтах (1963 г.).

Рекомендации по определению величины уставки тока отключения защитных реле автоматических выключателей или магнитных пускателей, а также номинального тока плавкой вставки предохранителей, устанавливаемой к отдельным токоприемникам, изложены в Инструкции по выбору и проверке уставок реле максимального тока и плавких вставок предохранителей в шахтных электрических сетях. (Сборник инструкций к Правилам безопасности, 1964 г.).

Ни в Правилах безопасности, ни в другом каком-либо

официальном документе не изложены требования по защите электросетей постоянного тока от короткого замыкания. Поэтому осуществление надежной защиты сетей постоянного тока встречает затруднения.

Настройку защиты подземных электрических сетей постоянного тока можно рекомендовать производить в соответствии с теми принципами, какие приняты на электрифицированных железных дорогах СССР.

Ток I_y уставки защиты необходимо выбирать с таким расчетом, чтобы выбранная уставка была на 300 a меньше величины т.к.з. в самой отдаленной точке контактной сети:

$$I_y \leq I_{к.з} - 300 a. \quad (5)$$

При этом весьма необходимо, чтобы принятая уставка защиты, гарантирующая отключение сети при токах короткого замыкания в наиболее отдаленной точке контактной сети, обеспечивала нормальную работу электровозов.

В связи с этим выбранная I_y должна быть на 200 a больше максимального тока I_{max} , потребляемого всеми электровозами, работающими от контактной сети:

$$I_y \geq I_{max} + 200 a. \quad (6)$$

В сетях постоянного тока, так же как и в сетях переменного тока напряжением до 1000 в, наиболее трудной задачей является защита от малых токов короткого замыкания.

В дополнение к этому в сетях постоянного тока значительную опасность составляют токи короткого замыкания, которые могут возникнуть вблизи преобразовательных подстанций.

Особая опасность возникает в связи с токами короткого замыкания, которые появляются в результате обратных зажиганий в ртутных выпрямителях, питающих электровозную откатку и которые могут достигать нескольких десятков тысяч ампер.

В связи с тем, что т.к.з. в цепи постоянного тока весьма быстро растет в функции времени, для защиты подземных тяговых сетей необходимо применять быстродействующие автоматы серии ВАБ (выключатель автоматический быстродействующий). Собственное время срабатывания таких выключателей не превышает 0,001—0,002 сек. В течение такого малого срока ток короткого замыкания не успевает принять опасную величину.

Нагревание кабеля и возникновение в нем токов короткого замыкания в значительной мере зависит от качества и способа соединения кабелей с машинами и аппаратами, а также от качества счаливания отрезков кабелей и их оболочек.

В отношении соединения кабелей в электрических сетях действующими «Правилами безопасности в угольных и сланцевых шахтах» (1964 г.) предусмотрены специальные требования.

§ 5. ЗАЩИТА ШАХТНОЙ ЭЛЕКТРОСЕТИ ОТ ОПАСНЫХ ТОКОВ УТЕЧКИ

Как было отмечено выше, гибкие резиновые кабели наиболее опасны в пожарном отношении, так как на их оболочках может возникать устойчивое горение, распространяющееся затем на другие горючие материалы. Поэтому подземные кабели должны быть достаточно защищенными с учетом требований противопожарной безопасности. При этом гибкие кабели должны работать с общим предохранительным устройством, обеспечивающим действие аппаратов защиты. Весьма необходимо, чтобы ток отключался до воспламенения горючих материалов.

В результате повреждения гибкого резинового кабеля через пробойны в его внешней оболочке влага проникает внутрь и замыкает ток или способствует образованию утечек тока «на землю».

Для защиты шахтной электросети и электрооборудования, при опасных токах утечки ДПИ и МакНИИ разработана конструкция экранированного гибкого резинового кабеля, который в комплекте с аппаратом реле утечки (РУВ) должен значительно повысить безопасность эксплуатации электрооборудования в подземных выработках.

Как установлено при испытании опытных экранированных гибких кабелей в лаборатории МакНИИ (И. И. Бодиенко, В. И. Шумейко), аппарат защиты от утечек во всех случаях при замыкании экрана кабеля на одну из рабочих жил кабеля надежно отключал сеть при помощи фидерного автомата до возникновения в нем короткого замыкания или загорания кабеля.

В настоящее время экранированный кабель ГРШЭ выпускается серийно.

Внедрение в эксплуатацию в подземных выработках гибких экранированных с негорючей оболочкой кабелей безусловно приведет к снижению пожарной опасности в электрических сетях. Наличие экранированной оболочки обеспечит автоматическое отключение кабеля от сети при любых повреждениях (прорезы, проколы, раздавливание и т. д.) раньше, чем образуется опасность возникновения короткого замыкания.

В случае же короткого замыкания оболочка кабеля не воспламенится, и таким образом пожар будет предотвращен.

В Англии после обязательного введения оболочек гибкого электрического кабеля из неопрена число ежегодных пожаров, возникавших из-за воспламенения гибких кабелей, значительно уменьшилось (с 7 до 1—2).

§ 6. ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ ИМПУЛЬСОВ ПРИ ВЗРЫВНЫХ РАБОТАХ

Как указывалось выше, опасные тепловые импульсы возникают при ведении взрывных работ в продуктах взрыва, которые могут иметь весьма высокую температуру, а также при выгорании взрывчатого вещества (дефлаграции).

Опасные тепловые импульсы при ведении взрывных работ в угольных шахтах, как установлено специальным исследованием, возникали главным образом из-за нарушений требований Правил безопасности в угольных и сланцевых шахтах и Единых Правил безопасности при ведении взрывных работ. Поэтому культура ведения взрывных работ должна быть значительно повышена. Производство взрывчатых и взрывных материалов должно строго соответствовать стандартной технологии.

Температура продуктов взрыва может быть снижена до безопасной следующими способами: 1) надежным соединением пат-

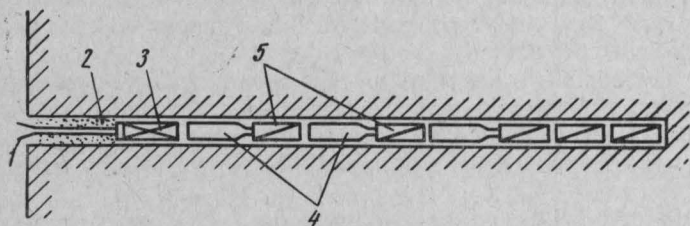


Рис. 19. Ампулы с водой между патронами ВВ в шнуре:
1 — электроводяные проводники, 2 — глиняная забойка, 3 — патрон-боевик,
4 — ампулы с водой, 5 — патроны ВВ

рона-боевика с электродетонатором; 2) применением гидравлической забойки в ампулах из пластического материала; 3) введением ампул с водой в заряд шнура; 4) предварительным распылением воды в призабойном пространстве; 5) заполнением воздушно-механической пеной призабойного пространства.

В Бельгийском институте горного дела в опытной шахте в Кольфонте провели исследования по взрыванию зарядов шнуров, в которых между патронами и в качестве забойки помещали ампулы из пластмасс, наполненные водой. Контрольное взрывание таких зарядов производили в метано-воздушной среде.

В результате проведенных исследований в опытной шахте, а также в угольных действующих было установлено, что ампулы с водой из эластичной пластмассы, помещенные между патроном-боевиком и зарядом (рис. 19), не препятствовали передаче детонации от патрона-боевика к заряду. При неизменной эффективности взрыва безопасность взрывных работ значительно повышается, так как взрывы зарядов не воспламеняли взрывоопасную метано-воздушную смесь. Произведенные аналитические исследования показали, что тепло взрыва, расходуемое на испарение влаги, заключенной в ампулах, значительно снижало температуру продуктов взрыва (в некоторых случаях на 1000°C). Следовательно, в этих условиях газы до выхода в атмосферу значительно охлаждаются и становятся менее опасными в отношении воспламенения метана и угольной пыли.

В связи с тем, что при применении глиняной или песчаной забойки допускаются небрежности, возникло предложение приме-

нять в качестве забойки заполненную водой ампулу стандартной длины.

Водяная забойка в ампуле длиной около 30 см не снижает эффективность взрыва, повышает безопасность и улучшает гигиену труда, так как вода при взрыве смачивает пыль и растворяет газообразные продукты взрыва.

В угольных шахтах, опасных по газу и пыли, трестов Лисичанскуголь, Краснолучуголь, Ленинуголь, Советскуголь и Красноармейскуголь были проведены испытания взрыва зарядов с промежуточными ампулами с водой. Ампулы изготовлялись из тонкой поливинилхлоридовой пленки. Этими опытами установлено, что водяные ампулы улучшают санитарно-гигиенические условия и безопасность труда.

Для дальнейшего повышения эффективности увлажнения пыли, охлаждения продуктов взрыва, а также нейтрализации ядовитых газов необходимо применять для заполнения ампул водные растворы ингибиторов. К числу последних может быть отнесен бромистый этил (5—7%).

Применение гидравлической забойки и промежуточных ампул с водой в зарядах шпуров направлено на охлаждение продуктов взрыва перед выходом их в атмосферу.

Предварительное разбрызгивание воды или растворов ингибиторов в призабойном пространстве или заполнение его воздушно-механической пеной имеют целью охлаждение продуктов взрыва до безопасной температуры в среде (распыленная жидкость или пена), обладающей высокой теплоемкостью по сравнению с газами. Кроме этого, пенообразующая жидкость хорошо смачивает и связывает угольную пыль, витающую в воздухе и осевшую на стенках выработки. Такими же свойствами может обладать и жидкость, применяемая для распыления в призабойном пространстве.

На участке выработок, заполненных распыленной водой или пеной, выгорание взрывчатого вещества также невозможно.

Вода или растворы ингибиторов разбрызгиваются двумя способами. Для мелкодисперсного распыления жидкость пропускается под давлением $9,8 \cdot 10^5$ — $11,7 \cdot 10^5$ н/м² через специальные форсунки, располагаемые на расстоянии 10—15 м от забоя выработки. Расход жидкости для распыления в течение 5 мин не будет превышать 100 л. Жидкость должна распыляться в течение 4—5 мин перед взрывом и в момент взрыва. При таком способе распыления призабойное пространство выработки к моменту взрыва шпуров будет заполнено мелкодисперсной водой на расстоянии не менее 15—20 м от забоя, что вполне достаточно для охлаждения продуктов взрыва и смачивания угольной пыли.

Перед забоем жидкость можно разбрызгивать по методу Ф. И. Панина¹.

¹ Авторское свидетельство № 3002/447350; заявлено 8 апреля 1952 г.

Сущность этого метода заключается в следующем. Одновременно с взрывом зарядов взрывчатого вещества в шпурах в призабойном пространстве разбрызгивается вода (или растворы ингибиторов).

Вода (100 или 200 л), предназначенная для разбрызгивания, помещается в сосуд 1 (рис. 20), который изготавливается из многослойной гидрофобной бумаги, тонкого картона или пластмассы и имеет цилиндрическую или шарообразную форму. Внутри сосуда вмонтирована трубка 2, а на расстоянии 150 мм от нее вделывается горловина 3, через которую сосуд заполняется водой. После заполнения сосуда водой горловина 3 завязывается плотно шпагатом 4. В трубке 2 помещается заряд 5 аммонита № 1 (300—600 г). Один из патронов аммонита снабжен электродетонатором 6. Остальная часть трубки заполняется забойкой 7.

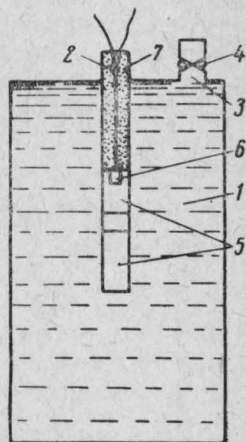


Рис. 20. Сосуд с водой, предназначенный для разбрызгивания

Сосуд с водой устанавливается на расстоянии около 5 м от забоя, а проводники электродетонатора включаются последовательно в электрическую цепь, составленную проводниками электродетонаторов, помещенных в шпурах.

Таким образом, достигается одновременность взрыва зарядов в шпурах и в трубке 2 сосуда с водой и разбрызгивание воды.

В результате контакта распыленной жидкости (в обоих случаях распыления) и продуктов взрыва, имеющих высокую температуру, происходит испарение жидкости, которое сопровождается значительным охлаждением продуктов взрыва. Кроме того, при распылении и испарении жидкости значительно уменьшается концентрация кислорода в атмосфере призабойного пространства.

Способ снижения тепловых импульсов, возникающих при взрывных работах, заполнением призабойного пространства пеной, предложенный В. М. Сухаревским, В. Т. Хорольским и Б. Л. Злотным (1958 г.), заключается в следующем. Шпуры рекомендуется взрывать после того, как выработка по всему сечению на расстоянии 15—20 м от забоя заполнена воздушно-механической пеной кратностью 800—1000. Воздушно-механическая пена, в 1 м³ которой содержится около 1 л пенообразующего раствора (4% пенообразователя ПО-1 и 96% воды), хорошо смачивает угольную пыль, осевшую на стенках выработки и витающую в воздухе. Таким образом, угольная пыль в объеме выработки длиной 15—20 м смачивается и становится взрывобезопасной, а продукты взрыва после прохождения через пенную «пробку» значительно охлаждаются.

Проведенные опыты в штольне МакНИИ показали, что пламя взрыва 10 м^3 метана (концентрация 9,5%) распространялось в пенной пробке от 3 до 8 м. На участке штольни (длиной около 20 м), подлежащем заполнению пеной, на специальных полках размещалась угольная пыль. При взрыве метана в камере, расположенной на границе с участком, заполненным пеной и отделенным от камеры бумажной диафрагмой, вся пыль смешивалась с пеной и невоспламенившаяся взрывной волной выбрасывалась на значительное расстояние.

Сущность описываемого способа заключается в следующем. На шахтах, опасных по газу или пыли, при проходке выработок

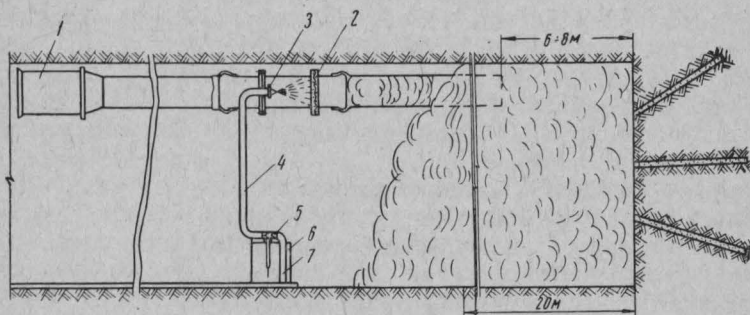


Рис. 21. Схема расположения пеногенераторной установки для получения и транспортировки пены в призабойное пространство

взрывными работами, перед взрыванием шпуров призабойную часть выработки по всему сечению наполняют пеной на длину 15—20 м от забоя. Пена, соприкасаясь со стенками выработки, смачивает угольную пыль, заполняет призабойное пространство и, вытесняя из него смесь метана и воздуха, не дает возможности образоваться взрывоопасной смеси газов.

После взрыва шпуров продукты взрыва, пройдя через пенное заполнение, охлаждаются до температуры значительно ниже 700°C . В результате этого предупреждается воспламенение не только газов и угольной пыли, но и других горючих материалов.

На рис. 21 изображена схема установки для получения и транспортирования пены для заполнения призабойного пространства. Установка вмонтирована в вентиляционную линию вентилятора местного проветривания.

Установка состоит из сетки 1, водораспылительной насадки 2, пожарного прорезиненного рукава 3, пеносмесителя 4 и сосуда 5 с пенообразователем.

Пенообразователь с водой смешивается следующим образом. Вода, поступающая в смеситель 4 под давлением около 8 ат, засасывает (эжектирует) из бабка 5 пенообразователь в количестве около 4% по отношению к количеству протекаемой воды.

Полученный раствор пенообразователя по прорезиненному рукаву 3 поступает к форсунке 2, а оттуда набрызгивается на сетку 1.

Воздух, движущийся по вентиляционной трубе через сетку, взаимодействует с распыленным раствором пенообразователя, в результате чего образуется пена, которая силой движущегося в трубе воздуха перемещается в призабойное пространство выработки. Скорость выхода пены и ее качество зависят от состояния вентиляционной линии труб и типа вентилятора. Количество набрызгиваемого на сетку пенообразующего раствора и количество проходящего через сетку воздуха должны быть в отношении примерно 1:1250, 1:1000. В таком случае кратность пены будет в пределах 800—1000.

Из всех перечисленных способов охлаждения продуктов взрыва наиболее надежны, по нашему мнению, способы заполнения призабойного пространства распыленной водой и пеной.

§ 7. ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ОПАСНЫХ ТЕПЛОВЫХ ИМПУЛЬСОВ ПРИ КАНАТНОЙ ОТКАТКЕ И НА ЛЕНТОЧНЫХ КОНВЕЙЕРНЫХ УСТАНОВКАХ

Опасные тепловые импульсы при перемещении в подземных выработках подъемных канатов могут быть предотвращены следующими мероприятиями. При проектировании выработок, в которых предполагается канатная откатка, необходимо избегать резких изменений направления оси выработок как по вертикали, так и по горизонтали. Добиваясь минимальной кривизны выработок, необходимо соблюдать также плавность в сопряжении прямолинейных и криволинейных участков.

В местах касания подъемного каната почвы, кровли или стен выработок должны быть установлены ролики, которые постоянно должны поддерживаться в исправном состоянии.

Для предупреждения опасных тепловых импульсов на ленточных конвейерных установках необходимо: 1) чтобы избежать искривления оси установок, секции конвейерных установок центрировать и устанавливать на бетонном основании; 2) ежемесячно убирать просыпавшийся с ленты уголь и пыль; 3) своевременно заменять пришедшие в негодность части установки (ленту, ролики, шкивы и т. д.); 4) установить постоянный контроль за состоянием и работой установки и своевременно устранять неполадки; 5) оборудовать установку приборами, позволяющими автоматически выключать ненормально работающую установку и дистанционно ею управлять; 6) не допускать чрезмерной нагрузки как по всей длине ленты, а также на отдельных ее участках.

ОГРАНИЧЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА ГОРЮЧИХ МАТЕРИАЛОВ И КОНСТРУКЦИЙ В ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ

В горных выработках в местах появления опасных импульсов тепла при нормальной атмосфере возникновение и развитие пожара обусловлено только наличием горючих материалов.

При возникновении пожаров на развитие горения решающее влияние оказывает кроме наличия горючих материалов также продолжительность времени, в течение которого протекает процесс горения, — фактор времени. Чем раньше приступают к тушению очага горения, тем легче достигается желаемый эффект.

Для безопасного выхода рабочих при возникновении пожара в воздухоподающем стволе или в районе околоствольного двора, а также для быстрой локализации пожара на всех горизонтах шахты устанавливают противопожарные двери. Кроме того, всю сеть шахтных выработок необходимо делить на секции противопожарными арками, при помощи которых возможно быстро изолировать или выключить пожарный участок из общей сети проветривания, не приостанавливая работ на соседних участках.

Таким образом, возникновение и развитие пожаров в горных выработках находятся также в зависимости и от подготовленности шахт к борьбе с пожарами.

Угольная пыль и метан в опасных концентрациях содержатся в горных выработках только при нарушении требований Правил безопасности, которыми регламентируются их допускаемые концентрации.

Некоторые же горючие материалы содержатся в горных выработках в нормальных условиях в опасных количествах для воспламенения и распространения горения. Наиболее распространенными среди таких горючих материалов в горных выработках являются: уголь, древесина (крепь или элементы крепи выработка), резиновые массы (оболочки кабелей и жил), а также покрытия конвейерных лент (прорезиненные ткани), вентиляционные трубы, основы конвейерных лент и различного рода шланги, масла — трансформаторное и индустриальное 20 (заполнение трансформаторов, преобразователей тока, масляных выключателей, гидрофицированных систем и др.).

§ 1. ОГРАНИЧЕНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ГОРЮЧИХ КОНСТРУКЦИЙ КРЕПИ В ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ

В зависимости от материалов, из которых изготовлены элементы крепи, последняя по горючести классифицируется следующим образом: негорячая, трудногорячая, трудновоспламеняющаяся и горючая.

Крепь, элементы которой изготовлены из негорючих материалов, называется негорючей. При этом под негорючими

материалами подразумеваются такие, которые под воздействием огня или высокой температуры не воспламеняются, не тлеют и не обугливаются. К таким несгораемым материалам, применяемым для крепи горных выработок, относятся бетон, железобетон, кирпич, бетонит, бутовый камень и железо.

Трудносгораемая крепь изготавливается из трудносгораемых материалов, которые под воздействием огня или высокой температуры весьма медленно воспламеняются и продолжают гореть или тлеть при наличии источников огня. После удаления источника тепла горение и тление прекращаются. К таким материалам относится огнезащищенная древесина с глубокой пропиткой.

К трудновоспламеняющейся крепи относятся конструкции, изготовленные полностью из древесины (стойки и затяжки) с огнестойким покрытием (обмазка или теплоизоляция), или стойки из натуральной древесины и затяжки из негорючего или трудносгораемого материала. В такой крепи под воздействием теплового импульса воспламеняется натуральная древесина (стойки) и не горит или весьма медленно воспламеняется часть крепи (затяжки). После удаления теплового импульса продолжается местное слабое горение преимущественно натуральной древесины. Распространение горения весьма ограничено.

Если же все детали крепи выполнены из горючего материала, то такая крепь сгораемая. Эта крепь под воздействием огня или высокой температуры воспламеняется и продолжает гореть или тлеть после удаления источника тепла.

Конструкции металлических рам крепи и железобетонных стоек с деревянными затяжками или затяжками из огнезащищенной древесины или из негорючих материалов также относятся к сгораемой, трудносгораемой или несгораемой крепи.

Для ограничения возникновения и распространения горения, исходя из пожарной опасности, а также значимости для всей шахты отдельных выработок крепь в них по свойствам горючести должна соответствовать следующим качествам (табл. 11).

Деревянная огнезащищенная крепь после потери защитных свойств от воспламенения (если древесина будет иметь влажность ниже 40%) подлежит периодическому поверхностному огнезащитному покрытию.

§ 2. ОСНОВЫ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ГОРЮЧЕСТИ ДРЕВЕСИНЫ; ЗАМЕНА ГОРЮЧИХ МАТЕРИАЛОВ НЕГОРЮЧИМИ

В тех случаях, когда возникает целесообразность применения деревянной крепи или отдельных ее элементов из древесины (затяжки и т. п.), древесина должна подвергаться специальной обработке, которая снижает ее горючесть.

Снижение горючести древесины достигается следующими способами: а) термоизоляционными покрытиями (облицовка деревянных частей несгораемыми или трудносгораемыми материалами);

Выработка	Группа сгораемости крепи
Устья вертикальных, наклонных стволов и штолен на протяжении не менее 10 м, считая от поверхности	Несгораемая
Вертикальные и наклонные столбы, штольни и людские ходки наклонных стволов:	
со сроком службы до 10 лет	Трудносгораемая
со сроком службы свыше 10 лет	Несгораемая
Сопражения стволов с околоствольными дворами . . .	Несгораемая.
Выработки околоствольных дворов:	
со сроком службы до 10 лет	Трудносгораемая
со сроком службы свыше 10 лет	Несгораемая
Сопражения выработок с околоствольными дворами . .	Несгораемая
Главные и промежуточные квершлагги, главные и групповые откаточные штреки:	
со сроком службы до 10 лет	Трудносгораемая
со сроком службы свыше 10 лет	Несгораемая
Устья капитальных уклонов, бремсбергов и их ходков на протяжении не менее 15 м, считая от головки рельса штрека	Несгораемая
Капитальные уклоны, бремсберги и их ходки	Трудносгораемая
Сопражения откаточных и вентиляционных штреков с капитальными квершлагами, уклонами, бремсбергами и их ходками не менее 10 м в каждую сторону	Несгораемая
Участковые откаточные и вентиляционные штреки, участковые бремсберги, уклоны, скаты, гезенки и их ходки	Трудновоспламеняющаяся
Электромашинные камеры, все выработки складов взрывчатых материалов, инструментальные и ремонтные мастерские, камеры диспетчеров, депо подземных противопожарных поездов, а также части выработок, где установлены ведущие головки ленточных конвейеров	Несгораемая
Примечание. Эти камеры со сроком службы до 1 года можно крепить трудносгораемыми материалами.	
Выработки на протяжении 10 м во все стороны от электромашинных камер	Несгораемая
Вентиляционные сбойки и вентиляционные шурфы:	
со сроком службы до 10 лет	Трудносгораемая или трудновоспламеняющаяся
со сроком службы свыше 10 лет	Несгораемая
Здание вентиляторов, вентиляционные и калориферные каналы	Несгораемая

Примечание. Затяжки, применяемые при металлической крепи или крепи из железобетонных стоек, должны быть из негорючих материалов (железо, железобетон и др.) и ли деревянные, пропитанные огнезащитными составами.

б) покрытием огнезащитными красками — наибольшее количество таких красок содержит в своем составе жидкое растворимое стекло (силикатные краски); в) пропиткой древесины огнезащитными составами.

Как отмечалось выше, воспламенение влажной древесины затрудняется тем, что при нагреве поверхности древесины значительная часть тепла расходуется на испарение воды. При горении сырой древесины (40% влажности) около 10% общего количества тепла расходуется на испарение влаги. При этом рабочая теплотворная способность древесины в значительной мере снижается. Например, теплотворная способность сухой древесины 18 840,6 дж, а при влажности древесины 45% — около 8582,94 дж. Фактором, замедляющим возгорание и горение древесины, является также повышенная теплопроводность влажной древесины, вследствие чего значительная часть тепла расходуется на равномерный нагрев значительной площади поверхности.

Термоизоляционные штукатурки, окраски и обмазки изолируют древесину от воздуха, вследствие чего сгораемые газообразные продукты не оказывают решающего влияния на дальнейшее усиление термического разложения и горения древесины. Этими видами обработки достигается защита древесины от воспламенения кратковременно действующими тепловыми импульсами малой мощности.

Наилучший эффект огнезащиты древесины получается при глубокой пропитке древесины огнезащитными растворами с применением (попеременно) вакуума и давления в автоклавах.

Пропитанная огнезащитными составами древесина при высоких температурах лишь обугливается, а под воздействием пламени или высокой температуры такая древесина слегка горит, но при удалении источника тепла горение прекращается.

Соли (антипирены), растворами которых пропитывается древесина, при нагревании разлагаются или испаряются, образуя негорючие газы, а некоторые из них плавятся, покрывая древесину, воздухопроницаемой негорючей оболочкой.

Кроме перечисленных физических воздействий солей, обладающих огнезащитными свойствами, необходимо отметить увеличение выхода древесного угля в огнезащищенной древесине. Действие солей на древесину при ее нагреве можно считать одним из видов дегидратации, заключающейся в отщеплении воды от молекул органических и неорганических соединений. Дегидратация органических веществ обычно происходит при участии минеральных и органических кислот (H_2SO_4 , H_3PO_4 , безводной щавелевой кислоты и др.) и некоторых их солей. Процесс дегидратации может протекать как с отщеплением воды от одной молекулы (внутримолекулярно), так и с выделением ее из нескольких одинаковых и разных молекул (межмолекулярно).

Дегидратация пропитанной древесины приводит к тому, что

выход древесного угля достигает 40—50%, в то время как у обыкновенной (непропитанной) — 25%.

К этому следует добавить, что теплотворная способность древесины также уменьшается за счет тепла, расходуемого на разложение солей и испарение воды из древесины.

Уменьшение летучего углерода в значительной части огнезащищенной древесины пропиткой на много сокращает выход количества летучих веществ, способных возгораться. Поэтому благодаря дегидратации в огнезащищенной древесине может преобладать поверхностное горение угля (тление), при котором, как известно, скорость выделения тепла значительно ниже, чем при пламенном горении.

После длительного воздействия огнем на огнезащищенную древесину основная масса древесины превращается в уголь, который способен легко разрушаться. Из всего этого следует, что дегидратация имеет весьма существенное значение в снижении возгораемости древесины.

Наиболее распространенные породы древесины, применяемые для крепи выработок, хорошо пропитываются обычными водными растворами солей только в пределах заболонной части и совсем слабо в ядре. Поэтому шахтный крепежный лес, пропитанный огнезащитными составами, не может быть полностью превращен в негорючий материал. При длительном воздействии тепла на огнезащищенную рудничную стойку, продукты возгонки будут прорываться из непропитанной части древесины к поверхности. С увеличением прогрева древесины, особенно после разрушения огнезащищенной части (заболони), выделение газовых продуктов будет увеличиваться. Воспламенение этих продуктов возгонки может разрушить пропитанный слой древесины и воспламенить непропитанную ее часть. Следовательно, полной негорючести шахтного крепежного леса нельзя достигнуть ни термоизоляционными покрытиями, ни окраской, ни пропиткой. Все эти виды огнезащиты лишь затрудняют воспламенение древесины, что, тем не менее, в значительной мере может облегчить борьбу с пожарами.

В подземных выработках воздушно-сухая древесина, особенно с развитой поверхностью, должна в первую очередь подвергаться наиболее эффективной защите (пропитка под давлением). Древесина, имеющая слаборазвитую поверхность (стойки), а также древесина с повышенной влажностью (20—30%) может быть огнезащищена при помощи поверхностных покрытий (обмазок) и пропиток. Древесина, имеющая большую влажность (свыше 40%), может не защищаться от воздействия теплового импульса, встречающегося в подземных выработках угольных шахт, так как возгорание в таких условиях весьма затруднительно, а распространение горения в начальный период будет совсем минимальным.

Защита древесины от гниения совмещается с огнезащитной

пропиткой. Для этой цели в состав пропиточного раствора добавляют консервирующие вещества (антисептики), способные предупредить или приостановить развитие организмов, вызывающих разрушение древесины. Громадное количество антисептиков способно предупредить развитие только грибов, незначительная часть не допускает развитие животных организмов (насекомых) и только отдельные из известных антисептиков действуют губительно и на грибы, и на насекомых.

Противогнилотная защита древесины может осуществляться также и самостоятельно путем пропитки или обмазки растворами или пастами антисептиков.

В последнее время, исходя из крайней необходимости уменьшения количества горючих материалов в подземных выработках, весьма заметно ощущается стремление к замене горючих и трудновоспламеняющихся материалов на негорючие материалы.

Так, например, для изготовления резиновых оболочек гибких электрических кабелей, конвейерных лент, вентиляционных труб и т. д. резиновая масса и прорезиненная ткань заменяются полихлорвинилом, неопреном, наиритом и другими пластмассами.

В трансформаторах, реостатах и других аппаратах трансформаторное масло также вытесняется негорючими материалами (сыпучими — кварцевый песок и др.).

В гидрофицированных системах также возникает необходимость замены масла индустриального 20 негорючими жидкостями, в качестве которых могут быть чисто синтетические жидкости и эмульсии: водо-мыльная, масло-водная и водо-масляная.

Глава VI

ПРОПИТКА ДРЕВЕСИНЫ ОГНЕЗАЩИТНЫМИ РАСТВОРАМИ

§ 1. ПРОПИТОЧНЫЕ СРЕДСТВА

Для огнезащиты и консервации древесины в пропиточные составы включаются два основных вида компонентов — антипирены и антисептики.

Антипирены. Химические вещества, обладающие свойствами снижать горючесть древесины, называются антипиренами. Антипирены, применяемые для обработки крепи подземных выработок, должны обладать следующими свойствами: достаточно хорошо защищать древесину от воспламенения; в растворенном виде хорошо проникать в древесину; в результате взаимодействия с древесиной не должны уменьшать ее механическую прочность; не увеличивать гигроскопические свойства древесины и не вызывать коррозию черных металлов, соприкасающихся с их растворами или с огнезащищенной древесиной; хорошо сопротивляться выщелачиванию и выветриванию в условиях подземных выработок; быть достаточно дешевыми для практического применения.

Соли аммония (фосфорнокислые и сернокислые), а также некоторые соли щелочных, щелочноземельных металлов (бура, жидкое стекло) обладают свойствами, при помощи которых можно замедлить воспламеняемость и горение древесины. В аммонийных солях эти свойства заключаются в следующем: при термическом разложении (при температуре 155—380 °C) в них освобождаются сильные кислоты (фосфорная, серная, соляная и др.), которые могут дегидратировать пропитанную древесину, отбирая входящие в ее состав водород и кислород. Углерод, остающийся после дегидратации, обладает весьма небольшой летучестью и при температуре до 800—900 °C не оказывает заметного влияния на пламенную фазу горения. Конечное количество угля, получающееся в этих условиях из древесины, пропитанной аммонийными солями, достигает примерно половины веса исходной древесины в абсолютно сухом состоянии, значительно приближаясь к полному количеству углерода в древесине.

Если принять во внимание, что теплопроизводительная способность 1 кг древесного угля равна в среднем $3,289 \cdot 10^7$ дж, то в угле, остающемся от каждого килограмма пропитанной древесины, сохраняются невыделившимися $1,645 \cdot 10^7$ дж (при фактической теплопроизводительности 1 кг древесины — $1,885 \cdot 10^7$ дж). Учитывая дополнительный расход теплоты на испарение влаги из древесины, а также на разложение огнезащитных солей, следует, что хорошо пропитанная древесина при термической обработке может оказаться не в состоянии выделять теплоту, т. е. может потерять свойства окисления, способствующие развитию горения.

Многие вещества, пригодные для огнезащиты древесины, оказываются эффективными только для одной из фаз горения древесины, а поэтому возникает целесообразность комбинированного применения огнезащитных средств.

В обычных условиях достаточно высокий эффект огнезащиты древесины достигается введением двухзамещенного фосфорнокислого аммония $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ в количестве, равном примерно 9% сухой соли к весу пропитываемой древесины (при влажности последней около 10—12%). Примерно в такой же мере достигается огнезащита сернокислым аммонием $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ при введении его в количестве около 15%. При введении в древесину бромистого аммония NH_4Br и около 12% буры $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$, считая последнюю по безводному весу, также получается значительный эффект защиты древесины от воспламенения.

К весьма существенному недостатку всех аммонийных солей, пригодных для огнезащитных пропиток древесины, следует отнести их способность при высокой влажности воздуха растворяться в гигроскопически поглощаемой ими влаге и дополнительно увлажнять пропитанную древесину. Для каждой соли аммония существует критическая относительная влажность воздуха (при температуре 20 °C), при которой начинается их растворение в воз-

духе: для $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ эта влажность равна примерно 92%, для $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ — 81%, для поваренной соли NaCl — около 74%.

К числу легкоплавких, хотя и нелетучих солей, относятся многие соли натрия, как например бора. Бора также не обладает летучестью, однако при нагревании выделяет значительное количество паров содержащейся в ней кристаллизационной воды.

Химические вещества, пригодные для огнезащитной пропитки древесины, в большинстве случаев корродируют металлы, поэтому в состав огнезащитной пропитки необходимо ввести вещества (пассиваторы), которые защищают металлы, соприкасающиеся с растворами или пропитанной древесиной, от коррозии.

Антисептические средства. Химические вещества, оказывающие токсическое действие на бактерии, называются антисептиками. Антисептики действуют либо на плазму бактерий, либо на окружающую среду, создавая неблагоприятные условия для их роста и размножения. Антисептики, применяемые для консервации древесины, должны быть дешевыми в изготовлении и обладать: токсичностью в отношении грибов, насекомых и их личинок, разрушающих древесину; безвредностью для людей и животных; легкостью проникновения в древесину; трудностью испарения и выщелачивания влагой.

Кроме того, антисептики не должны снижать механической прочности древесины и вызывать коррозии соприкасающихся с древесиной черных металлов.

Антисептические свойства таких веществ характеризуются их концентрацией, при которой прекращается рост мицелия или спор гриба. Антисептичность химических веществ определяется на искусственной или естественной питательной среде (древесина).

Все известные антисептические средства делятся на три основные группы: *маслянистые, водные и водонерастворимые*.

К первой группе относятся креозотные и антраценовые масла, а также нефтяной жидкий пек (газовая смола).

К водным антисептикам относятся фтористый натрий, кремнефтористый натрий, хлористый цинк и другие соединения.

Водонерастворимые антисептики (оксидифенил, пентахлорфенол и бетанофтол) применяются в виде растворов в органических жидкостях.

Из огромного количества антисептиков, предложенных для пропитки и промазки древесины, для предупреждения ее от загнивания и для дезинфекции не все нашли практическое применение.

По данным С. Г. Веденина (1932 г.), а также на основании работы «Исследование антисептичности антипиринов», проведенной в Лесотехнической Академии им. С. М. Кирова (С. И. Ванин, Д. В. Соколов и Н. Г. Прихот) — Ленинград, 1949 г., борная кислота и бора безводная обладают высокой токсичностью в отношении домовых грибов (*Merilius lacrimans* и *Conifora Cerebella*).

Довольно высокой токсичностью обладают следующие смеси антипиринов:

1) бура безводная+борная кислота (2:3) в концентрации 12,5%; 2) диаммонийфосфат+сульфат аммония (1:1); 3) бура безводная+сульфат аммония (2:3); 4) сернокислый аммоний+фосфорнокислый натрий (14:5); 5) хлористый аммоний+фосфорнокислый аммоний+бура (8,5:5:3); 6) хлористый аммоний+фосфорнокислый аммоний (2:1); 7) сернокислый аммоний+фтористый натрий (20:1).

Недостаточной токсичностью обладают следующие антипирены: фосфорнокислый аммоний, сернокислый аммоний, сернокислый магний, хлористый аммоний.

Таким образом, достаточной токсичностью в отношении грибов обладают весьма немногие антипирены. Некоторые из них в смеси с другими антипиренами дают достаточную токсичность. Большинство же химических веществ, пригодных для огнезащиты древесины, не обладает в достаточной мере защитными свойствами, предохраняющими древесину от гниения. К таким антипиренам, для придания раствору противогнильных свойств, необходимо прибавлять антисептики.

Для консервирования шахтного крепежного леса могут быть применены лишь немногие из них, как например фтористый натрий, кремнефтористый натрий и хлористый цинк.

Практически признанным для антисептирования способом глубокой пропитки шахтной крепежной древесины оказался фтористый натрий, применяемый в виде водного раствора концентрацией около 2,4 %.

Антисептические средства в большинстве случаев корродируют металлы, поэтому для их пассивации необходимо также применять вещества, которые защищают металлы, соприкасающиеся с антисептированной древесиной, от коррозии.

§ 2. ПРОПИТЫВАЕМОСТЬ ДРЕВЕСИНЫ

Пропитываемость различных пород древесины неодинакова и зависит главным образом от анатомического строения древесины и путей передвижения воды в ней.

Исследования по пропитке сухой древесины (влажность 12—13 %) ядровых, спелодревесных и заболонных пород (С. И. Ванин) смесью креозота с мазутом под давлением $4,9 \cdot 10^5$ — $7,845 \cdot 10^5$ н/м² и с предварительным вакуумом дали следующие результаты.

Заболонь почти всех пород древесины пропитывается удовлетворительно, исключение составляет заболонь пихты, которая пропитывается хуже. Считается, что для заболонных и спелодревесных лиственных пород менее плотная древесина (меньший объемный вес) пропитывается лучше, чем более плотная, однако эта зависимость не распространяется на ядровые лиственные и на все хвойные породы.

В древесине нет каких-либо приспособлений для регулирования тока воды только в одном направлении, поэтому вода через дре-

весину может проникать как в одном, так и в другом направлениях, т. е. пропиточные растворы проникают в древесину с обеих торцов и примерно с одинаковой скоростью. Сопротивление проникновению влаги, зависящее от строения древесины, оказывает существенное влияние на проводимость древесины. Оно зависит от количества и площади сечений полостей сосудов и трахеид, приходящихся на 1 см^2 сечения древесины, а также от количества, величины и состояния пор в оболочках. Окаймленные поры с прижатым к отверстию торсом значительно увеличивают сопротивление древесины, а следовательно, сильно понижают ее проводимость. Длина проводящих элементов (сосудов и трахеид) также существенно влияет на проводимость.

Проводимость влаги у хвойных пород гораздо меньшая, чем у лиственных, что объясняется в основном крайне малым диаметром пор, а также малым диаметром и малой длиной трахеид в сравнении с сосудами.

У лиственных пород через ствол длиной 1 м под давлением в $0,981 \cdot 10^5 \text{ н/м}^2$ профильтровывается 50—150 см^3 воды в час на 1 м^2 поперечного сечения, а у хвойных — всего лишь 5—50 см^3 .

Установлено, что фильтрация воды через древесину в различных направлениях происходит неодинаково. Вода в продольном направлении фильтруется значительно лучше, чем в тангентальном направлении (через радиальный срез), а в радиальном направлении (через тангентальный срез) фильтрация воды возможна только при повышенном давлении. Водопроводимость заболонной части в продольном направлении в 10—15 раз больше водопроводности в тангентальном направлении.

По трудности пропитки наиболее распространенные виды древесины располагаются в следующей последовательности: 1) ядровые хвойные — лиственница, кедр, сосна; 2) ядровые лиственные — фисташка, дуб; спелодревесные хвойные — пихта, ель; 4) спелодревесные лиственные — бук, липа; 5) заболонные лиственные — ольха, береза и осина.

Такая классификация подтверждается практическими данными.

По трудности пропитывания в пропиточных цилиндрах древесина располагается в следующей последовательности: 1) хвойные спелодревесные — ель, пихта (наиболее трудно пропитываются в пропиточных цилиндрах); 2) хвойные ядровые — лиственница, кедр, сосна (заболонь пропитывается легко, а сухое ядро не пропитывается); 3) лиственные ядровые — фисташка, дуб и ясень (заболонь пропитывается легко); 4) лиственные спелодревесные и заболонные — бук, липа, ольха, клен, береза и осина (в пропиточных цилиндрах под давлением легко пропитываются нацело или очень глубоко).

Фильтрация воды через древесину существенно меняется в зависимости от степени наполнения сосудистой системы водой. В случае совершенного заполнения водой этой системы (весной или после вымачивания древесины в воде) проводимость ее весьма увели-

чивается и незначительное давление на одном конце даже у хвойных пород немедленно обнаруживается на другом конце. В подтверждение сказанному служит следующий опыт. Если верхнее сечение вымоченной и вертикально подвешенной древесины пихты или ели смочить несколькими каплями воды, то на нижнем сечении очень быстро выступит вода. Древесина же, у которой полости заполнены частично водой, частично воздухом, плохо проводят воду.

Полный процесс пропитки древесины смачивающими ее веществами совершается тремя неравными по длительности путями: 1) проникновение раствора в сосуды (у хвойных пород отсутствует); 2) проникновение раствора из одних клеток в другие через поры; 3) пропитка раствором стенок клеток и проникновение раствора в другие клетки посредством диффузии;

На неодинаковое проникновение растворов в древесину одной и той же породы может оказать влияние также различие в строении древесины, которое зависит от условий произрастания (климат, почва), положения в насаждении и т. д.

Исследованиями С. И. Ванина выяснено, что древесина сосновой породы, взятая из средней и верхней частей ствола, лучше пропитывается, чем из нижней части (для ели такой зависимости не замечено). Древесина хорошо развитых деревьев сосны или ели пропитывается хлористым цинком лучше, чем древесина слабо развитых (угнетенных) деревьев.

Процессы пропитки древесины в зависимости от применения смачивающих или несмачивающих жидкостей существенно различаются. При пропитке смачивающими жидкостями пропиточные вещества заполняют пустоты (полости сосудов, внутриленточные пространства) в древесине и в той или иной мере проникают в клеточные стенки. Физико-химический процесс проникновения жидкости в стенки клеток объясняется тем, что древесина способна сорбировать различные вещества и в первую очередь воду — наиболее часто встречающийся растворитель в пропиточных веществах. Вещества же, не смачивающие древесину, заполняют лишь пустоты в древесине.

Различные компоненты пропиточной жидкости удерживаются древесиной неодинаково. Наиболее часто встречающееся явление при пропитке древесины истинными или коллоидными растворами высокой степени дисперсности заключается в том, что раствор механически удерживается волокнами древесины. В древесине после испарения растворителя растворенные вещества остаются в виде кристаллов или пленки, обволакивающей волокна или фибриллы.

Все соли, применяемые для пропитки древесины, неодинаково сорбируются целлюлозой. Нейтральные соли тяжелых металлов (меди, железа, цинка и свинца) сорбируются целлюлозой сильнее, чем хлориды и сульфаты кальция, магния и т. д. При промывании водой пропитанной древесины некоторые соли (например, соли щелочноземельных металлов) легко удаляются, в то время как со-

ли тяжелых металлов, особенно свинца, не могут быть удалены из целлюлозы промыванием.

Древесина при пропитке ее концентрированными солями может набухать и частично разлагаться. Так, например, концентрированные растворы хлористого цинка, особенно в присутствии небольшого количества минеральных кислот, могут растворить и экстрагировать углеродную часть древесины и резко уменьшить прочность древесины.

В древесине, пропитанной солями, гидролизующимися в водном растворе на основание и кислоту, происходят химические явления. Установлено, что хлористый магний в пропитанной его растворами древесине образует соляную кислоту, которая действует гидролизующим образом на древесину, а целлюлоза при этом изменяет механические качества и, находясь во влажной атмосфере, разрушается при температуре 80 °С. Температура и концентрация растворов оказывают при этом существенное влияние. Чтобы не допустить разрушения древесины, в пропиточный раствор при пропитке хлористым цинком добавляют металлический цинк, нейтрализующий кислоту.

Некоторые пороки древесины существенно влияют на ее проницаемость при пропитке растворами антисептиков и антипиренов. Механические повреждения лесонасаждений (бурелом), а также неправильные формы стволов (кривизна, ройка, покоробленность, закомелистость и сбежистость) не оказывают существенного влияния на проницаемость древесины растворами. Проницаемость несколько улучшается при наличии в стволах трещин (ветреница, метик, морозобой, отлуп, солнечные трещины), так как по ним пропиточные растворы проникают в глубь древесины. При этом пропиточная жидкость проникает в сухую ядровую древесину в сторону от поверхности трещин всего на несколько миллиметров. Участки, заполненные смолой (серница), не пропитываются, однако, по данным Д. Н. Лекторского (1940 г.), они не мешают пропитке соседних слоев древесины. Доступ пропиточной жидкости в древесину может быть прекращен в случае засмоления значительной площади.

Значительно большее влияние на пропитку имеют пороки, относящиеся к ненормальному строению древесины. Намного увеличивается проницаемость древесины при наличии заболонности, двойного сердца, двойной заболони. Косослой улучшает проницаемость древесины, а креонь и кремница ухудшают ее. При наличии водослоя пропитка сырой древесины маслянистыми антисептиками сильно ухудшается. Сучки, пораженные гнилью (ослабленные, табачные), повышают пропитываемость древесины. Проросты ухудшают пропитываемость древесины в том случае, если она включает в себя куски коры.

Грибные поражения древесины оказывают наибольшее влияние на ее пропитку. Древесина, поврежденная деструктивной или коррозийной гнилью, легко пропитывается, однако низкие механиче-

ские качества делают ее непригодной ни для консервирования, ни для огнезащиты. Слабое заражение синевой не влияет на проницаемость древесины. Сильно посиневшая заболонь не оказывает затруднений при пропитке водными растворами.

В древесине, как коллоидном капиллярно-пористом теле, вода может находиться в трех состояниях связи: 1) химически связанной воды, входящей в химический состав древесины; 2) коллоидной или ингибиционной воды, связанной в структуре древесинного вещества клеточных оболочек; 3) свободной или капиллярной воды, находящейся в полости клеток в сравнительно крупной капиллярной системе.

До сих пор не создана математическая теория перемещения жидкости в древесине при ее пропитке растворами антипиренов и антисептиков. Исследователями обнаружено бесспорное влияние на пропитываемость древесины следующих факторов: 1) влажности древесины, изменяющей размеры ее проводящих элементов; 2) наличия воздуха в полостях клеток, оказывающего сопротивление проникновению растворов в древесину; 3) сопротивления сил поверхностного натяжения в порах между клетками, особенно в древесине, содержащей в полостях воду и воздух.

Основываясь на анализе явлений, происходящих при проникновении жидкостей в древесину, и на физической сущности главных процессов, которые идут при пропитке древесины, принята следующая классификация методов пропитки: 1) длительное вымачивание древесины в растворах; 2) пропитывание по принципу сухой засолки в концентрированных солевых ваннах (диффузионный метод); 3) пропитка в горяче-холодных ваннах; 4) пропитка через торец (в автоклавах и вне его); 5) пропитка на корню живого дерева; 6) пропитка под избыточным давлением в автоклавных установках после предварительного удаления воздуха из древесины под вакуумом (способ полного поглощения).

Для пропитки шахтного крепежного леса наиболее приемлемым оказывается метод пропитки под избыточным давлением в автоклавах, обеспечивающий наиболее полное поглощение раствора древесиной, а также наибольшую массовость пропитки древесины. При этом способе пропитки жидкость проникает внутрь древесины одновременно со всех сторон и с торцов в радиальном и в тангентальном направлениях.

Наличие в древесине систем капилляров является необходимым условием для пропитки древесины любыми, не слишком вязкими жидкостями как смачивающими, так и не смачивающими стенки клеток.

§ 3. СПОСОБЫ ОГНЕЗАЩИТЫ ОПЫТНЫХ ОБРАЗЦОВ ДРЕВЕСИНЫ

При исследовании данного вопроса применялись следующие способы огнезащиты: глубокая пропитка, поверхностная пропитка и обмазка.

В лабораторных условиях было применено большое количество

растворов антипиренов для пропитки образцов древесины. Те составы растворов, которые обладают лучшими огнезащитными качествами и меньшей стоимостью, были потом использованы для пропитки элементов крепи (стойки и затяжки) заводским способом в автоклавной лесопропиточной установке.

Глубокая пропитка образцов древесины в лабораторных условиях производилась по методу горяче-холодных ванн и в лабораторной автоклавной установке.

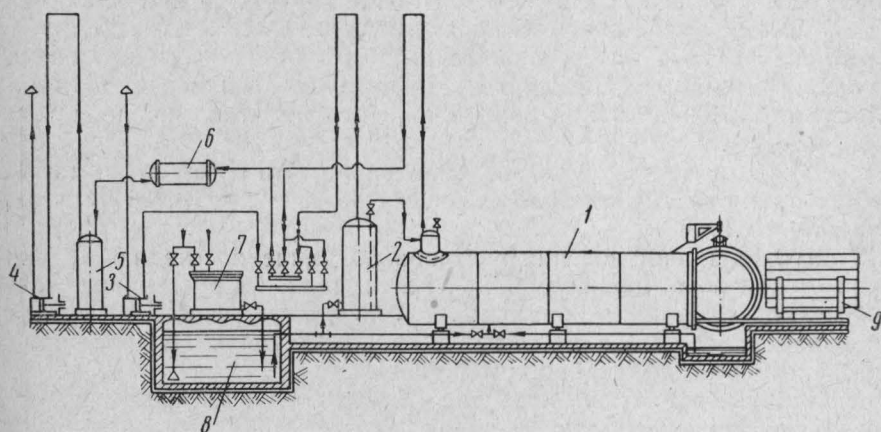


Рис. 22. Установка для пропитки шахтной крепежной древесины:

1 — пропиточный цилиндр, 2 — мерник, 3 — поршневой насос (компрессор), 4 — вакуум-насос, 5 — вакуум-аккумулятор, 6 — конденсатор, 7 — два резервуара для приготовления растворов, 8 — резервуар для пропиточных растворов, 9 — платформа с лесом

Пропитка по методу горяче-холодных ванн заключалась в том, что образцы древесины выдерживались в течение 4 ч в горячей ванне (температура раствора 80—90 °С), а затем переносились в холодную ванну, заполненную раствором с комнатной температурой, и содержались там в течение 10—12 ч.

Часть опытных образцов древесины пропитывалась в лабораторной автоклавной установке. Отличительная особенность этой пропитки заключалась в следующем.

После герметизации установки в цилиндре, заполненном образцами древесины, создавалось пониженное давление ($2,66 \cdot 10^4$ — $3,33 \cdot 10^4$ н/м²) в течение 30 мин, а затем его заполняли пропиточным раствором, имеющим температуру 70—80 °С и доводили в нем давление до $5,88 \cdot 10^5$ — $6,86 \cdot 10^5$ н/м². Такое давление в цилиндре поддерживалось в течение 3 ч.

Нормальные элементы шахтной крепи (рудничные стойки длиной 2—3,2 м и затяжки длиной до 1,5 м) пропитывались на шахтной лесопропиточной установке (шахта «Чулковка» № 8 треста Пролетарскуголь). На этой установке (рис. 22) для исследований было пропитано около 40 м³ шахтного крепежного леса (стойки и затяжки, приготовленные из сосновой и еловой пород древесины).

Для глубокой пропитки применялся водный раствор следующих солей: $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (100%) — 20 весовых частей; Na_2HPO_4 (100%) — 2,5 весовых частей; NaF (84%) — 2,4 весовых частей.

Древесина пропитывалась огнезащитным и противогнилостным раствором в следующей последовательности.

Пропиточный цилиндр заполнялся крепежным лесом, сложенным на платформах, и герметично закрывался крышкой. Затем для облегчения проникновения раствора в древесину в цилиндре создавался вакуум до $7,99 \cdot 10^4$ н/м², в результате чего удалялось значительное количество влаги из пор древесины. Вакуум выдерживался в течение 15 мин, затем пропиточный раствор из бассейна перекачивался в цилиндр. Давление в пропиточном цилиндре поднималось до $11,77 \cdot 10^5$ н/м² и поддерживалось на этом уровне в течение 1,5—2 ч.

Во время пропитки было установлено, что 1 м³ сосны поглощает раствора значительно больше ($242 \cdot 10^{-5}$ м³), чем ель (около $153 \cdot 10^{-3}$ м³).

Глубина проникновения раствора по длине и сечению рудничной стойки была неравномерной: на торцах и на расстоянии 200—300 мм от них стойка пропитывается по всему сечению; на остальной части длины стойки раствор проникал только в заболонную часть, а ядро совсем не пропитывалось.

Распилы, приготовленные для затяжки, хорошо пропитывались по всему сечению и длине.

Поверхностная пропитка древесины производилась нанесением кистью на поверхность древесины особого пропиточного раствора. Такое нанесение раствора на поверхность образца древесины повторялось троекратно с перерывами между обработками 12 ч.

Огнезащитная обмазка (шпаклевка) поверхности образцов древесины также производилась кистью. После подсушки примерно в течение 24 ч обработка древесины повторялась еще один-два раза.

Поверхностная пропитка образцов древесины производилась рекомендуемым ЦНИИПО МООН СССР составом, весовых частей: $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (100%) — 5, $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ (100%) — 20, керосиновый контакт — 8, NaF — 3, вода — 64.

Всего для пропитки в лабораторных условиях древесины было применено около 70 составов растворов. Для огнезащитной обмазки древесины было испытано 8 коллоидных растворов.

§ 4. ИСПЫТАНИЕ НА ВОСПЛАМЕНЯЕМОСТЬ ОБРАЗЦОВ ОГНЕЗАЩИЩЕННОЙ ДРЕВЕСИНЫ

Для сравнения огнезащитных свойств пропиточных растворов, применяемых для пропитки, огнезащитная древесина подвергалась одинаковому огневому воздействию.

Все образцы, предназначенные для испытания, доводились до воздушно-сухого состояния и взвешивались.

Одиночные образцы (размером $10 \times 10 \times 150$ мм) подвешивались в «огневой трубе» и подвергались огневому воздействию в торец пламенем температурой около 1000°C в течение 1 мин.

Такие же образцы испытывались и группами по 20 штук по способу «штабелька». В этом случае образцы укладывались на кольцевом лабораторном штативе по четыре в ряд с таким расчетом, чтобы образцы каждого последующего ряда были перпендикулярны образцам предыдущего. Расстояние между образцами в каждом ряду было одинаковым, а между наружными сторонами крайних образцов составляло 150 мм.

В выпарительную фарфоровую чашку, установленную под серединой испытуемого штабеля, наливали 10 см^3 бензина. Во время опыта расстояние верхнего края чашки до нижней части штабеля составляло 50 мм. При каждом испытании образцы подвергались воздействию пламени горящего бензина в течение 2,5 мин (продолжительность горения бензина).

Партия образцов, испытываемая по методу «штабелька», относилась к категории достаточно огнезащищенной, если продолжительность самостоятельного горения и тления образцов после прекращения действия внешнего теплового импульса не превышала 30 сек, а потеря веса испытуемых образцов не превышала 20%.

Огнезащищенные рудничные деревянные стойки длиной 2 м и больше испытывались на воспламеняемость в виде крепи выработок в опытной шахте 3-го ВГСО (г. Макеевка) ВГСЧ Донецкой области.

Крепь для испытания устанавливалась в наклонной части опытной шахты, закрепленной железобетоном. Площадь сечения выработки около 4 м^2 . Ниже опытной крепи, вплотную к первой раме, раскладывался костер из одинакового количества и качества горючих материалов (дерево и керосин). Поток воздуха направлялся снизу вверх со скоростью 1—2 м/сек. Горением материалов в костре имитировался тепловой импульс развитого пожара. В таких кострах сгорало около 100 кг воздушно-сухой древесины и от 2,5 до 13 кг керосина.

Расстояние между рамами опытной крепи от 0,5 до 0,8 м. Пространство между стенкой выработки и рамами плотно закладывалось деревянными затяжками.

Деревянные стойки испытывались на воспламеняемость в следующих сочетаниях:

- 1) стойки и затяжки из натуральной древесины;
- 2) стойки и затяжки из огнезащищенной древесины;
- 3) стойки из натуральной древесины, а затяжки из огнезащищенной (пропитанной) древесины;
- 4) стойки железобетонные, а затяжки из натуральной древесины;
- 5) стойки железобетонные, а затяжки из натуральной древесины, покрытые слоем огнезащитной шпаклевки;
- 6) стойки и затяжки огнезащищены поверхностной пропиткой.

Поток воздуха в опытной шахте создавался вентиляторами местного проветривания ВМ-200 и «Прходка-500».

Температура замерялась при помощи термпар, размещенных в разных сечениях выработки.

Часть образцов стоек длиной 400 мм, натуральных и пропитанных огнезащитными растворами испытывалась на воспламеняемость тепловым импульсом электрической дуги, образуемой при коротком замыкании электрического тока силой 500—600 а. Такому воздействию образцы подвергались в течение 15—20 сек.

1. Воспламеняемость образцов древесины размерами $10 \times 10 \times 150$ мм. В результате испытаний было установлено следующее.

Контрольные образцы из натуральной (неогнезащищенной) древесины влажностью не более 15% воспламенялись в течение 5—15 сек после начала огневого воздействия и продолжали гореть самостоятельно после выгорания всего бензина в чашечке. Самостоятельное горение продолжалось до почти полного сгорания древесины.

Образцы натуральной древесины влажностью свыше 15% воспламенялись: в пределах 15—20% влажности в течение 15—20 сек; при влажности 20—30% по истечении 20—35 сек (древесина в «штабельке»), а самостоятельное горение образцов было замедленным; при влажности 30—35% через 30—60 сек огневого воздействия, а самостоятельное горение было весьма замедленным; при влажности 35—40% через 40—90 сек, самостоятельное горение было очень слабым (горели один — два одиночных образца в продолжение 50—90 сек). При огневом воздействии на «штабелек», составленный из образцов древесины влажностью 40—50%, некоторые из образцов воспламенялись через 50—95 сек, а самостоятельное горение одного — двух образцов не превышало 30 сек.

Хорошая огнезащита образцов сосновой древесины после огневой обработки (образцы или совсем не горели, либо горение было весьма непродолжительным) достигалась пропиткой их водными растворами солей следующих составов:

1) 4 вес. част. $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + 3,3$ вес. част. $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4 + 2$ вес. част. $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 + 91$ вес. част. воды;

2) 10 вес. част. $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + 3,3$ вес. част. $\text{Na}_2\text{HPO}_4 + 2$ вес. част. $\text{Na}_2\text{SiF}_6 + 84,7$ вес. част. воды;

3) 10 вес. част. $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + 4$ вес. част. $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 + 1,5$ вес. част. $\text{Na}_2\text{SiF}_6 + 85$ вес. част. воды;

4) 10 вес. част. $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + 1,5$ вес. част. $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + 2$ вес. част. $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4 + 2$ вес. част. $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 + 1,5$ вес. част. $\text{Na}_2\text{SiF}_6 + 83$ вес. част. воды;

5) 14 вес. част. $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + 7$ вес. част. $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4 + 1,5$ вес. част. $\text{Na}_2\text{SiF}_6 + 77,5$ вес. част. воды;

6) 15 вес. част. $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + 4,4$ вес. част. $\text{Na}_2\text{HPO}_4 + 2$ вес. част. $\text{Na}_2\text{SiF}_6 + 78,6$ вес. част. воды;

7) 15 вес. част. $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + 2$ вес. част. $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 + 1,5$ вес. част. $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + 1,5$ вес. част. $\text{Na}_2\text{SiF}_6 + 80$ вес. част. воды;

8) 15 вес. част. $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + 2$ вес. част. $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4 + 1,5$ вес. част. $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + 1,5$ вес. част. $\text{Na}_2\text{SiF}_6 + 80$ вес. част. воды;

9) 20 вес. част. $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + 6,5$ вес. част. $\text{Na}_2\text{HPO}_4 + 2,5$ вес. част. $\text{Na}_2\text{SiF}_6 + 71$ вес. част. воды;

10) 11 вес. част. $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + 10,6$ вес. част. $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4 + 1,5$ вес. част. $\text{Na}_2\text{SiF}_6 + 76,9$ вес. част. воды;

11) 7 вес. част. $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + 4$ вес. част. $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4 + 2$ вес. част. $\text{Na}_2\text{SiF}_6 + 87$ вес. част. воды;

12) 6,25 вес. част. $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + 6$ вес. част. $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4 + 2$ вес. част. $\text{NaF} + 86,75$ вес. част. воды.

В пропиточных растворах 1, 5, 11 и 12 в качестве пассиватора был использован аммоний фосфорнокислый $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$, который является хорошим антипиреном и пассивирует действие сульфата аммония на черные металлы. Однако применение такого пассиватора значительно удорожает пропиточный раствор вследствие того, что $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ по цене значительно дороже Na_2HPO_4 .

В пропиточных растворах 4, 7 и 8 в качестве пассиватора был применен хромпик $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, обладающий хорошими пассивирующими свойствами и для пассивации действия сульфата аммония достаточно 1,5 вес. част. хромпика. Такой пропиточный раствор имеет низкую стоимость.

Образцы древесины размером $10 \times 10 \times 150$ мм, приготовленные из заболонной части деревянных стоек, пропитанных раствором 9, подвергались огневому испытанию.

Испытаниями установлено, что образцы, приготовленные из первого (наружного) слоя заболони, обладали лучшей защитой от воспламеняемости, чем из второго (среднего) по толщине и третьего (внутреннего) слоев.

Из числа проверенных огнезащитных обмазок лучшие результаты как по прочности пленки, так и по огнезащитным свойствам получены при двукратной обмазке следующими водными эмульсионными растворами:

1) 37 вес. част. жидкого стекла + 36,5 вес. част. мела + 0,6 вес. част. колошниковой пыли + 10 вес. част. эмульсии хлорпарафина + 5 вес. част. NaF ;

2) 400 вес. част. суперфосфата + 70 вес. част. глины + 35 вес. част. СЦЩ* + 20 вес. част. NaF .

В состав хлорпарафиновой эмульсии входит 40 вес. част. хлорпарафина, 20 вес. част. глины и 40 вес. част. воды.

Толщина защитной пленки на образцах достигала для первого рецепта 1,5—2 мм, а для второго — 2—3 мм. В обоих случаях пленка была достаточно прочной и атмосферонеустойчивой.

2. Воспламеняемость огнезащищенных деревянных рудничных стоек. Тепловой импульс электрической дуги, получаемой от ко-

* СЦЩ — сульфитноспиртовая барда.

роткого замыкания электрического тока силой 500—600 а, после 15—20 сек воздействия на деревянные стойки (воздушно-сухие) произвел следующие изменения:

1) на сосновой стойке, огнезащищенной глубокой пропиткой, выжжена часть древесины, а углубление в древесине покрыто затвердевшей пузырчатой массой минеральных солей; 2) на сосновой стойке, огнезащищенной поверхностной пропиткой, образовавшееся углубление в большей части покрыто крупнопузырчатой массой; 3) на натуральной сосновой стойке также выжжено углубление, которое осталось открытым.

После выключения электрической энергии на огнезащищенных стойках совсем не было самостоятельного горения, а на неогнезащищенной стойке было весьма непродолжительное самостоятельное горение.

При воздействии пламени костра, соответствующего импульсу развитого пожара (100 кг воздушно-сухой древесины и 13 кг керосина), на крепь из натуральной древесины затяжки воспламенялись на первой минуте. После этого воспламенение древесины быстро распространялось.

Выгорание горючих материалов в костре не приостановило самостоятельного горения крепи.

Крепь, составленная из древесины, огнезащищенной способом глубокой пропитки водным раствором солей вес. част.: $20 \text{ (NH}_4\text{)}_2\text{SO}_4 + 6,5 \text{ Na}_2\text{HPO}_4 + 2,5 \text{ NaF}$, под воздействием такой же интенсивности пламени, как и в первом опыте, не воспламенилась. Пламенного горения на затяжках и стойках не наблюдалось совсем, горение тлением наблюдалось в незначительных размерах на первой и второй рамах.

Максимальная температура над костром достигала 900°C , а температура продуктов горения костра на выходе из опытной шахты достигала 127°C . Едва ощутимая потеря веса была обнаружена только в стойках первой рамы, а в остальных элементах крепи не обнаружена. Влажность древесины в крепи перед опытом составляла 10—12%.

Деревянная крепь, огнезащищенная поверхностной пропиткой, под воздействием теплового импульса, соответствующего развитому пожару, сгорела полностью.

Опытная деревянная крепь, в состав которой входили стойки из натуральной древесины, а затяжки из древесины, огнезащищенной способом глубокой пропитки, также испытывалась на воспламеняемость от теплового импульса костра.

Частично воспламенились (ближе к костру расположенные) стойки первой и второй рамы крепи, однако горение не распространилось на другие стойки, а после прекращения горения костра горение стоек также прекратилось.

Затем было проведено испытание воспламеняемости деревянных затяжек, размещенных за железобетонными стойками, от теплового

го импульса, равного по мощности применяемым в предыдущих опытах.

В результате этих испытаний было выявлено, что затяжки из натуральной древесины воспламенялись в течение 1,5—2 мин и сгорали все полностью. Горение распространилось на все затяжки (на протяжении около 10 м вдоль рам крепи) в течение 27—30 мин.

Натуральные затяжки, у которых только одна сторона была покрыта эмульсионным раствором, также были испытаны на воспламеняемость.

В таких опытах натуральные затяжки размещались за железобетонными стойками, а затем пульверизацией или обмазкой кистью их наружная сторона покрывалась водным эмульсионным раствором. В состав водного эмульсионного раствора входили: 37 вес. част. растворимого стекла (уд. вес 1,49), 37 вес. част. мела, 0,6 вес. част. колошниковой пыли и 10 вес. част. эмульсии хлорпарафина. Тепловой импульс создавался горящим костром примерно такой же мощности, как в предыдущих экспериментах. Горение затяжек по неогнезащищенной стороне (стороне, обращенной к стенкам выработки) развивалось слабо преимущественно у кровли. После прекращения горения в костре (на 25 мин) интенсивность горения затяжек уменьшилась.

На основании данных, полученных при огневых испытаниях древесины, считаем возможным рекомендовать глубокую пропитку, в автоклавных установках шахтной крепежной древесины для защиты ее от мощного источника тепла.

§ 5. АНТИСЕПТИЧНОСТЬ ОГНЕЗАЩИЩЕННОЙ ДРЕВЕСИНЫ

Для определения антисептических свойств огнезащищенной древесины было проведено экспериментальное исследование в условиях горных выработок. С этой целью в шахтах № 6 «Капитальная» и № 12/18 имени газеты «Правда» треста Пролетарскуголь комбината Донецкуголь участки выработок были закреплены деревянной крепью, которая предварительно была огнезащищена методом глубокой пропитки водным раствором солей состава: 20 вес. част. $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$; 2,5 вес. част. (100%) Na_2HPO_4 и 2,5 вес. част. NaF .

Особенно благоприятные условия для произрастания спор и развития грибов оказались в западном штреке пласта Прасковиевского в шахте № 12/18 имени газеты «Правда». В этой тупиковой выработке воздух, имеющий влажность 80—90% при температуре 17,5—18,2 °C, был почти неподвижен. Выработка на опытном участке была закреплена смешанной крепью из натуральной древесины и огнезащищенной. Крепь из натуральной древесины после 4—6 месяцев оказалась весьма пораженной грибом.

Огнезащищенная крепь в течение одного года хорошо сопротивлялась действию грибов и весьма редко встречались элементы этой крепи, покрытые незначительными очажками плесени. За это же время крепь из натуральной древесины была значительно раз-

рушена грибами, что привело к большим обрушениям пород сначала перед опытным участком, а затем и на опытном участке. По этой причине дальнейшие наблюдения были прекращены.

На основе результатов этих наблюдений следует, что огнезащитная древесина обладает также вполне достаточными и антисептическими свойствами.

Глава VII

ПОДГОТОВКА ШАХТ К ЛИКВИДАЦИИ ПОЖАРОВ

Как отмечалось выше, возникшие пожары потушить с наименьшими затратами энергии возможно в том случае, когда к тушению приступают до их опасного развития, имея при этом достаточно средств пожаротушения.

Под неопасным развитием пожара подразумевается такое состояние пожара, когда прекращение горения возможно такими средствами, как инертная пыль или песок и пена ручных огнетушителей. Такие пожары не составляют серьезной опасности для человеческого организма и материальный ущерб от них минимальный. Из практики и экспериментальных исследований известно, что опасное развитие пожара наступает в течение 30—40 мин после появления горения. Поэтому все пожары необходимо тушить в самом начале их возникновения работниками шахты и ПГСП.

Для этого необходимо, чтобы в каждой шахте работали люди, подготовленные к тушению пожаров.

Каждая шахта должна быть обеспечена: 1) целесообразно размещенными по объектам противопожарным оборудованием и средствами; 2) службой для своевременного обнаружения возникших пожаров и оповещения об этом; 3) устройствами для автоматического тушения пожаров в наиболее ответственных участках шахты; 4) тщательно разработанным планом спасения людей и ликвидации пожаров.

Комплекс этих мероприятий характеризует подготовленность шахты к ликвидации пожаров и обуславливает значительное снижение пожарной опасности.

Анализ статистического материала по пожарам, возникшим в горных выработках, хорошо подтверждает эту зависимость. В период 1946—1952 гг. частичное проведение этого комплекса мероприятий, которое проявилось главным образом в размещении противопожарного оборудования и средств, а также укомплектования рабочих смен опытными по тушению пожаров рабочими привело к тому, что число пожаров, потушенных работниками шахты и ПГСП, возросло от 7 до 70%.

В 1953 г. ввиду неуккомплектованности рабочих смен рабочими, подготовленными к тушению пожаров (упразднены вспомогательные добровольные команды и сокращено количество ПГСП), число пожаров, потушенных работниками шахт, снизилось до 38% и только к 1959 г. снова возросло до 50%.

§ 1. ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК ПРОТИВОПОЖАРНЫМ ОБОРУДОВАНИЕМ И СРЕДСТВАМИ

Согласно требованиям Правил безопасности в угольных и сланцевых шахтах (Приложение 11), каждая шахта для своевременного тушения пожаров должна иметь противопожарное оборудование и средства пожаротушения.

Для каждой шахты (как строящейся, так и находящейся в эксплуатации) необходимое оборудование и средства для тушения пожаров и их размещение в выработках определяются проектом.

При этом предусматривается, что проектирование противопожарной защиты должно включаться разделом в общий проект строительства и реконструкции шахт. Для действующих же шахт должны специально разрабатываться проекты соответствующими проектными организациями. Периодически, по мере значительного удлинения действующих выработок, а также с появлением новых, проекты противопожарной защиты должны уточняться. Правилами безопасности запрещается принимать в эксплуатацию шахты, горные выработки которых не обеспечены противопожарным оборудованием и средствами.

Таковыми проектами должно предусматриваться использование (приспособление) для тушения пожаров всех действующих водотливных магистралей, водопроводов и пульпопроводов, а также прокладка в случае необходимости специальных противопожарных трубопроводов, рассчитанных на давление не ниже $9,81 \cdot 10^5$ н/м².

Все противопожарные трубопроводы должны питаться водой из поверхностного водоема и из шахтного водосборника.

Насосы, нагнетающие воду в трубопроводы (поверхностные и подземные), должны непрерывно снабжаться электроэнергией от двух отдельных фидеров.

Все распределительные и регулирующие давление устройства на противопожарных трубопроводах должны быть обозначены на схемах водопроводов и пронумерованы, а порядок их применения должен быть описан в специальном руководстве.

Все противопожарные трубопроводы, продолженные на поверхности шахт, в стволах и горных выработках, должны быть утеплены и защищены от коррозии.

Проектирование водопроводов в подземных выработках должно вестись в соответствии с Временными нормами и техническими условиями прокладки водопроводов в подземных выработках шахт, утвержденных Госстроем СССР.

Все надшахтные сооружения в противопожарном отношении оборудуются в соответствии с требованиями Противопожарных норм строительного проектирования шахт карьеров, обогатительных и брикетных фабрик угольной промышленности и Противопожарных норм строительного проектирования промышленных предприятий и населенных мест (Н-102-54).

Согласно «Инструкции по противопожарной защите угольных

шахт» (Приложение к ПБ) и сделанной нами детализации и иллюстрации к ней (В. М. Сухаревский, В. Т. Хорольский и В. М. Жадан, 1959 г.), принцип подготовки шахт для ликвидации пожаров в угольных шахтах заключается в следующем.

Для успешного тушения подземных пожаров поверхность шахты и подземные выработки должны быть оснащены противопожарным оборудованием и средствами для тушения пожаров. Согласно этой схеме, противопожарное оборудование поверхности шахты состоит из водоема емкостью 250 м³, насосной установки, сети поверхностного противопожарного трубопровода, оборудованного отводами с вентилями и пожарными гайками. Противопожарный трубопровод на поверхности шахты должен иметь соединение с трубами центрального водоотлива. Такое соединение обеспечивает снабжение водой подземных выработок, а при необходимости дает возможность заполнения водоема и поверхностной противопожарной сети водой из подземных выработок. У устьев стволов у каждого отвода размещаются нагнетательные пожарные рукава и стволы, а также по шесть ручных огнетушителей.

В горных выработках противопожарное оборудование состоит из противопожарного трубопровода, подземной противопожарной насосной установки, размещенной в насосной камере центрального водоотлива, стационарных или ручных огнетушителей и ящиков с песком или инертной пылью. На каждом действующем горизонте шахты в специальном депо помещается противопожарный поезд, вагоны которого заполнены средствами и оборудованием для тушения пожаров.

В выработках околоствольных дворов, в электромашинах камер, на верхних и нижних приемных площадках бремсбергов, уклонов и скатов устанавливаются металлические противопожарные двери.

Схема разработки шахтного поля и схема проветривания подземных выработок должны приниматься с таким расчетом, чтобы из эксплуатационного участка в случае его загазования на свежую струю воздуха был кратчайший выход.

На каждом действующем горизонте шахты располагается центральный подземный склад противопожарных материалов и резервного оборудования, размещение которого совмещается с местом стоянки подземного противопожарного поезда в депо. Для такого депо проводят выработку в таком районе шахтного поля, из которого можно в минимально короткий срок переместить противопожарный поезд с материалами и оборудованием к месту пожара.

§ 2. ПРОТИВОПОЖАРНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И СРЕДСТВА НА ПОВЕРХНОСТИ ШАХТ

На промплощадке каждой шахты необходимо иметь насосную станцию 1 (рис. 23) и водоем 2. В зависимости от климатических условий водоем может быть закрытым и утепленным или откры-

тым и неутепленным. В случае совмещения запасов воды для хозяйственных и противопожарных целей в одном водоеме всас насоса 3 для отбора воды для хозяйственных целей устраивается так, чтобы он не мог забирать воду ниже уровня пожарного запаса. Всас 4 противопожарного насоса опущен в углубление в дне резервуара, что обеспечивает засасывание всего запаса воды.

В насосной станции размещается два центробежных насоса 5. Производительность каждого насоса должна обеспечивать подачу такого количества воды, которое при пожаре в любом стволе соз-

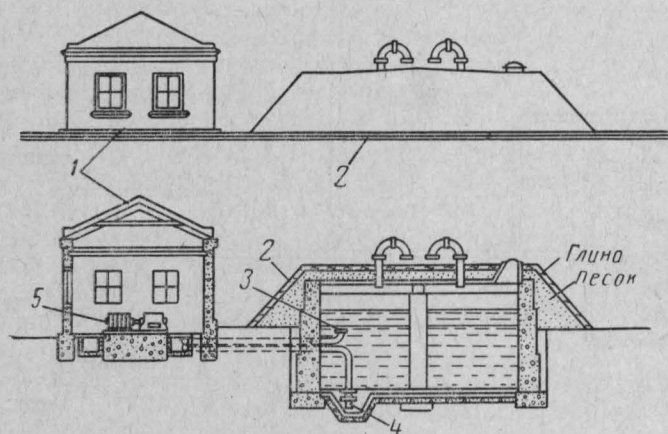


Рис. 23. Насосная станция и водоем на поверхности шахты

давало бы плотность водяной завесы около $3 \text{ м}^3/\text{ч}$ на 1 м^2 его поперечного сечения.

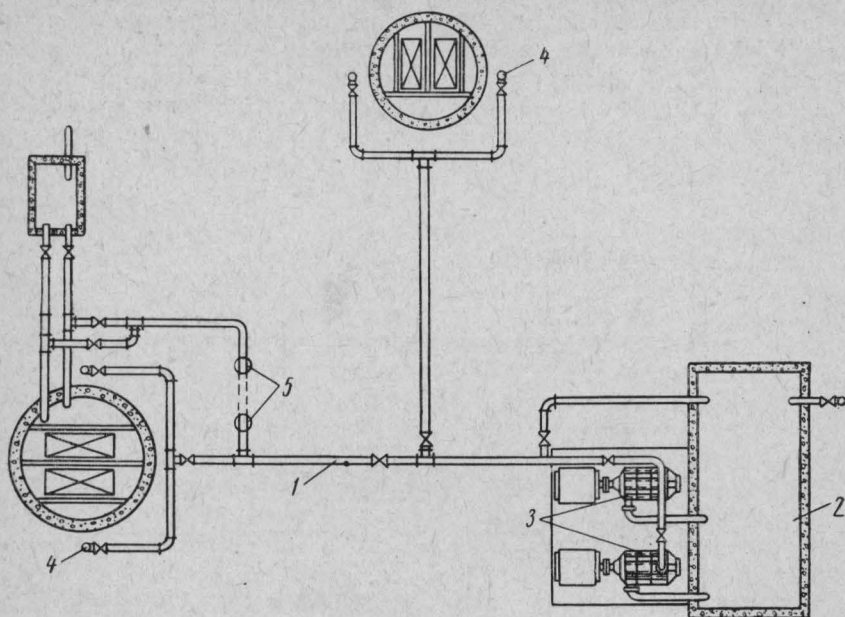
Схема разветвления противопожарного трубопровода на площадке шахты показана на рис. 24. Здесь специальный трубопровод 1 проложен к стволам шахт от противопожарного водоема 2. Вода в этот трубопровод подается насосами 3.

К каждому стволу из трубопровода проложены два ответвления 4, каждый из них оборудован вентилем и противопожарной гайкой. При необходимости поверхностный трубопровод 1 может быть закольцован с шахтным водоотливным трубопроводом. Для этой цели на специальных отводах обоих трубопроводов привариваются пожарные гайки 5, при помощи которых трубопроводы могут в случае необходимости соединяться между собой гибкими шлангами.

Кольцевание трубопроводов позволяет подавать воду с поверхности в горные выработки шахты и, наоборот, использовать выдаваемую из шахты воду для заполнения (там где это допустимо) противопожарного водоема.

Все стволы шахт и вертикальных шурфов оборудуются метал-

лическими лядами (рис. 25), которые служат для изоляции ствола при пожаре в надшахтном здании.



26

Рис. 24. Схема разветвления противопожарного трубопровода на площадке шахты

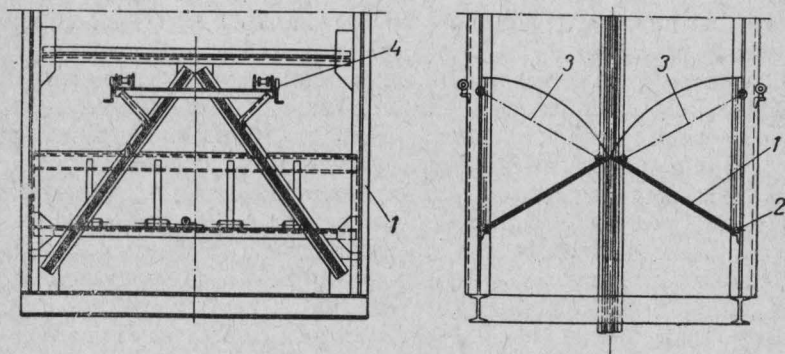


Рис. 25. Ляды над вертикальными стволами шахт и шурфами

Ляды 1 состоят из двух половин, скрепленных с рамой шарнирами 2. В нормальных условиях ляды открыты и удерживаются тросами 3. Для облегчения открывания и закрывания ляд устанавливаются специальные лебедки 4.

§ 3. ОБОРУДОВАНИЕ НАКЛОННЫХ СТВОЛОВ, ШТОЛЕН И ОКОЛОСТВОЛЬНЫХ ДВОРОВ

Оборудование наклонных стволов и штолен. Противопожарный трубопровод у устья наклонных стволов и штолен имеет два отвода с вентилями и пожарными соединительными гайками, которые (отводы) имеют взаимно-противоположное размещение. У каждого отвода расположены ящики с пожарными стволами и выкидными рукавами длиной не менее 20 м на каждый ствол.

Устья наклонных стволов, штолен и ходков оборудуются легко закрываемыми металлическими дверями, у которых устанавливаются ящики с глиной в количестве не менее 1 м³ для снижения воздухопроницаемости закрытых дверей. У каждого устья должно быть не менее шести ручных огнетушителей.

В наклонных стволах и штольнях должны прокладываться противопожарные трубопроводы с отводами и вентилями на каждом пересечении этих выработок с другими выработками. Прокладка трубопроводов необязательна в том случае, если в выработках имеются водоотливные ставы. При этом водоотливные ставы в соответствующих местах должны обязательно быть оборудованы отводами с вентилями и пожарными гайками. У каждого такого отвода устанавливается ящик с выкидными рукавами длиной 40 м и пожарным стволом.

Места пересечения наклонных стволов и штолен с главными выработками рабочих горизонтов целесообразно оборудовать водоразбрызгивающими устройствами. У каждого из пересечений должно находиться по два ручных огнетушителя.

Оборудование околоствольных дворов. В выработках околоствольных дворов обычно сосредоточены агрегаты и оборудование (маслонаполненные аппараты — трансформаторы, селеновые выпрямители, выключатели и т. д.), в которых при нарушении правил их эксплуатации могут образоваться мощные очаги горения. Пожары в этих выработках, расположенных на основной вентиляционной магистрали, получают быстрое развитие и представляют большую опасность для работающих в шахте. В связи с этим выработки околоствольных дворов должны иметь наиболее эффективное противопожарное оборудование, обеспечивающее ликвидацию возникающего пожара в самый короткий срок. Насос, используемый для орошения и тушения пожаров размещается в камере центрального водоотлива. К нему присоединяется противопожарный трубопровод, на котором перед входом в каждую камеру имеются отводы. Около отводов имеются ящики с пожарным рукавом и стволом.

В выработках, соединяющих стволы, а также в выработках главного направления должны быть двойные металлические двери. К одной из выработок должно примыкать депо противопожарного поезда. В околоствольных выработках через каждые 50 м на их сопряжениях во всех камерах околоствольного двора, а также при

входе в них со стороны свежей струи должны быть подвешены ручные огнетушители.

Оборудование сопряжений вертикальных стволов с околоствольными дворами. Сопряжения вертикальных стволов с околоствольными дворами (рис. 26) оборудуются противопожарными трубопроводами 1. С обеих сторон каждого ствола на трубопроводе устанавливаются отводы 2 с пожарным рукавом и стволом. Кроме того, с каждой стороны ствола подвешено по три ручных огнетушителя.

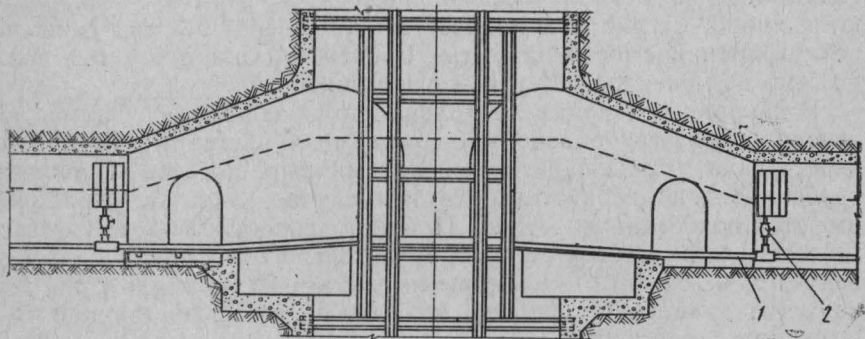


Рис. 26. Противопожарное оборудование в сопряжении вертикальных стволов с околоствольными дворами

Оборудование камер околоствольных дворов. В центральных подземных электроподстанциях силовые трансформаторы, распределительная и пусковая аппаратура должны устанавливаться в разных камерах. Каждая из этих камер должна иметь не менее двух выходов с металлической противопожарной дверью. В камерах размещаются ручные огнетушители, один стационарный воздушно-пенный огнетушитель и ящик с песком или инертной пылью.

Электровозные гаражи и зарядные камеры должны проветриваться обособленной вентиляционной струей и иметь не менее двух выходов с металлическими противопожарными дверями.

В гараже и зарядной камере в наиболее доступных местах размещаются ручные химические огнетушители, устанавливаются ящики с песком и один воздушно-пенный огнетушитель.

Склады взрывчатых материалов должны быть обеспечены необходимым оборудованием и средствами для тушения пожаров. Входы и выходы из складов должны ограждаться от выработок металлическими противопожарными дверями. В камерах складов размещаются ручные пенные огнетушители, ящики с песком и бочки с водой. К складу необходимо подвести противопожарный трубопровод с отводами.

Схема противопожарного трубопровода. С помощью противопожарного трубопровода (рис. 27) должны ликвидироваться пожары, начиная от надшахтных зданий и устьев стволов до забоев подготовительных выработок. При этом в нормальных условиях предусматривается его использование для орошения, а в аварийных случаях для тушения пожаров.

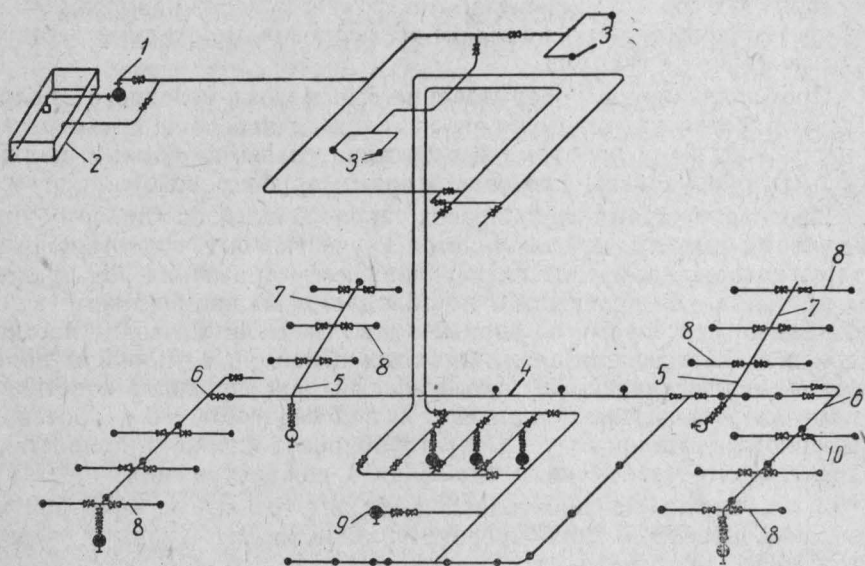


Рис. 27. Подземный противопожарный трубопровод

Насос 1 у водоема 2 на поверхности шахты должен снабжать водой всю противопожарную сеть поверхности шахты, в том числе и устья стволов 3. Подземный трубопровод 4 должен прокладываться по выработкам главных направлений до устьев последних на крыле шахты бремсбергов 5 и уклонов 6. Здесь к нему присоединяются оросительные трубопроводы 7, от которых ведут ответвления 8 на этажные штреки. Оросительные трубопроводы и их ответвления на этажные штреки должны также обеспечить пропуск воды в количестве, необходимом для тушения пожаров в этажных штреках. С этой же целью ответвления на этажных штреках оборудуются вентилями и пожарными гайками.

Если шахтная вода пригодна для орошения и тушения пожаров, в камере центрального водоотлива устанавливают специальный противопожарный насос 9, который подает воду в сеть противопожарно-оросительного трубопровода. Такая сеть должна быть соединена с трубопроводом центрального водоотлива. В противном случае (например, при сильнокоррозирующих свойствах воды и др.)

вода в подземные выработки подается из поверхностного водоема по специальному трубопроводу.

На шахтах с крутым залеганием пластов пожарный трубопровод прокладывается по капитальному квершлагу до пересечения им последнего вскрываемого пласта. В местах пересечения квершлага пластом к противопожарному трубопроводу подсоединяются оросительно-противопожарные трубопроводы и воздухопроводы, которые прокладываются по полевым или групповым штрекам.

В местах сопряжений выработок, а также через каждые 200 м на противопожарно-оросительном трубопроводе монтируются отводы с пожарными гайками.

Противопожарное оборудование выработок уклонного поля. Все выработки уклонного поля, начиная от лебедочной камеры и кончая очистными работами и подготовительными забоями, должны быть оборудованы противопожарным трубопроводом.

Противопожарный трубопровод, проложенный по главному откаточному штреку, присоединяется к участковому водоотливному ставу, проложенному по ходу уклона, если приточная вода уклона пригодна для орошения и не обладает излишне высокими коррозионными действиями на черные металлы. Если же вода участка не может быть использована для этих целей, то в уклонном поле прокладывают специально оросительный трубопровод с ответвлениями до забоев и мест орошения и подсоединяют его к противопожарному трубопроводу. Этот трубопровод должен полностью удовлетворять требованиям орошения и пожаротушения.

В местах пересечений уклона и ходка штреками и через 200 м по длине штрека на трубопроводе устанавливают отводы с соединительными гайками.

Кроме трубопроводов в уклоне, штреках, лавах, забоях и лебедочной камере размещают стационарные воздушно-пенные огнетушители, ручные химические огнетушители и ящики с песком, устанавливаемые у мест работы механизмов.

Для предотвращения распространения возникших пожаров в скатах от противопожарного трубопровода, проложенного по откаточному штреку, необходимо делать отводы, имеющие на концах водоразбрызгиватели типа ВШ-1. В верхней части ската сооружается арка с противопожарной дверью.

Противопожарное оборудование выработок бремсбергового поля. В выработках бремсбергового поля, как и в выработках уклонного поля, противопожарный трубопровод подводится по главному штреку к устью каждого бремсберга, где соединяется с оросительно-противопожарным трубопроводом, проложенным по людскому ходу бремсберга. В местах пересечения ходка с участковыми штреками устанавливаются отводы с пожарными соединительными гайками. По промежуточным штрекам также прокладываются оросительно-противопожарные трубопроводы к очистным и подготовительным забоям.

Во всех выработках бремсбергового поля должны размещаться ручные химические огнетушители и ящики с песком или инертной пылью. Ручные огнетушители развешиваются по два на откаточных и вентиляционных штреках через каждые 200 м на каждом пересечении этих штреков бремсбергом или ходком и в забоях подготовительных выработок.

В нише около лебедочной камеры кроме двух ручных химических огнетушителей и ящика с песком должен находиться один стационарный воздушно-пенный огнетушитель.

Противопожарная защита выработок, оборудованных ленточными конвейерами. Исходя из того, что резиновые конвейерные ленты создают повышенную пожарную опасность выработки, в которых размещены ленточные конвейеры, должны быть закреплены несгораемыми (сборный железобетон) или трудносгораемыми материалами (огнезащищенная древесина или спецпрофиль и в качестве затяжек древесина, пропитанная огнезащитными и противогнилостными составами). Камеры приводов конвейеров должны быть закреплены только несгораемыми материалами.

По выработке необходимо прокладывать оросительно-противопожарный трубопровод, на котором вблизи каждого привода конвейера необходимо устанавливать отводы с вентилями и водоразбрызгивателями типа ВС-3. Около каждого привода и через каждые 50 м по длине выработок должны быть находиться по два ручных химических огнетушителя и ящик с песком или инертной пылью.

Оборудование участковых электроподстанций. В связи с тем, что участковые электроподстанции с установленными в них трансформаторами, заполненными маслом, не имеют постоянного обслуживающего персонала, они представляют значительную опасность в пожарном отношении.

Учитывая, что в камере основным горючим материалом является трансформаторное масло, которое легко воспламеняется и при горении выделяет значительное количество инертных газов (CO_2), основное внимание обращается на своевременное герметическое закрытие входа в камеру.

Для этого вход камеры (рис. 28) оборудуется противопожарной металлической дверью 1, которая при повышении температуры в камере автоматически закрывается.

При повышении температуры в камере до 72°C плавится легкоплавкий металл 2, который соединяет концы троса 3 и 4, а груз 5, подвешенный на трос 4, опускается и силой своего веса закрывает дверь 1.

Ослабление натяжения троса 3 приводит также к размыканию контактов концевого выключателя, включенного в цепь нулевой катушки высоковольтного ящика. Таким образом, одновременно с рассоединением тросов 3 и 4 закрывается противопожарная дверь и отключается электроэнергия, поступающая в трансформатор.

В нише 6, устроенной в огнестойкой зоне крепи со стороны по-

ступающей на участок струи воздуха, помещаются два ручных огнетушителя 7 и ящик 8 с песком.

На противопожарном трубопроводе вблизи камеры напротив ниши 6 устанавливают отвод с вентилем и соединительной гайкой.

Места сопряжения выработок. Сопряжения подземных выработок (штреков с квершлагами, уклонов, бремсбергов и ходков со штреками) крепят несгораемыми материалами, сборным железобетоном, шлакоблоками, спецпрофилем с железобетонными затяжками и др. На противопожарном трубопроводе устанавливается отвод с соединительной гайкой и ящик с пожарным рукавом и стволом. Недалеко от отвода на стене подвешиваются два ручных огнетушителя.

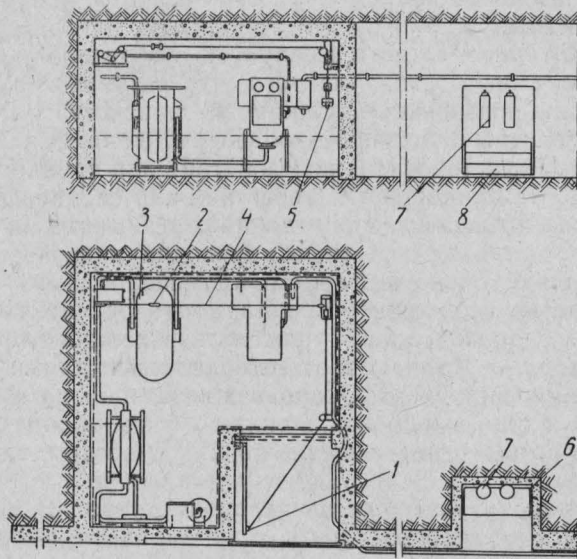


Рис. 28. Противопожарное оборудование подземных участков электрических подстанций

бетоном, шлакоблоками, спецпрофилем с железобетонными затяжками и др. На противопожарном трубопроводе устанавливается отвод с соединительной гайкой и ящик с пожарным рукавом и стволом. Недалеко от отвода на стене подвешиваются два ручных огнетушителя.

§ 5. ПЛАН ЛИКВИДАЦИИ ШАХТНЫХ АВАРИЙ

Тщательно разработанный план спасения людей и ликвидации аварий в значительной мере характеризует и определяет степень подготовленности шахты к ликвидации пожаров.

Успех в спасении людей, находящихся в районе аварии, и ликвидации аварии или ее последствий обуславливается правильным определением и выполнением мероприятий в течение самого короткого периода времени.

В напряженной обстановке, складывающейся после обнаружения пожара, и в короткий срок, в течение которого происходит

развитие пожара, трудно определить эффективные мероприятия для спасения людей и ликвидации аварии. Поэтому, чтобы исключить грубые ошибки в самом начале борьбы с пожарами, Правилами безопасности (приложение 1 к § 14) предусматривается каждой шахте иметь заранее разработанные мероприятия по спасению людей и ликвидации любой аварии. Эти мероприятия содержатся в плане ликвидации аварий, которые пополняются ежеквартально.

Основной задачей плана ликвидации аварий является определение кратчайших и безопасных путей для выхода людей, застигнутых аварией, на поверхность или в неугрожаемые участки шахты.

Кратчайший и безопасный путь выхода людей из участка или шахты в целом обычно определяется возможностью установления вентиляционного режима, который обеспечивал бы поступление необходимого количества свежего воздуха в выработки, которые служат для передвижения людей во время аварий.

Правильно определенный вентиляционный режим при пожарах в начале вентиляционной струи (пожар в надшахтном здании, стволе шахты, околоствольных выработках, по которым поступает в шахту свежий воздух) имеет весьма важное значение при обеспечении безопасного выхода людей.

В связи с этим при составлении планов ликвидации аварий после анализа вероятных изменений вентиляционного потока выбор остановить на таком вентиляционном режиме, который обеспечивает выход всем людям, застигнутым пожаром, в безопасное место по выработкам, проветриваемым свежей струей воздуха.

Для каждого отдельного случая аварии вентиляционный режим должен устанавливаться только после предварительной его проверки или при полной уверенности в возможности его осуществления.

В каждой смене, на каждом участке и в каждом ответственном узле шахты для выполнения мероприятий по ликвидации пожаров в числе рабочих и инженерно-технических работников необходимо иметь хорошо подготовленных людей по применению средств тушения пожаров и хорошо знакомых со способами организации работ по спасению людей и ликвидации пожаров.

СРЕДСТВА И СПОСОБЫ БОРЬБЫ С ПОДЗЕМНЫМИ ПОЖАРАМИ

Глава VIII

СРЕДСТВА ДЛЯ ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ

Для тушения очагов горения в горных выработках наиболее распространенными средствами являются вода, ее растворы и суспензии, пены, инертные газы и сыпучие материалы.

§ 1. ВОДА

Физические свойства. В условиях подземных выработок наиболее эффективным и доступным средством борьбы с пожарами является вода. В различных угольных бассейнах СССР в течение 1953—1962 гг. из общего количества возникших экзогенных пожаров только водой потушено от 4% (Кизеловский бассейн) до 37% (месторождения Средней Азии).

Положительными свойствами воды как средства для тушения пожаров являются: возможность подавать ее по трубам на весьма далекие расстояния, способность поглощать большое количество тепла — особенно при изменении своего агрегатного состояния; высокая удельная теплоемкость воды ($4,19 \cdot 10^3$ Дж/кг·град).

Один килограмм воды при начальной температуре 15°C на подогрев до температуры 100°C и на ее испарение потребует тепла:

$$Q = 2,252 \cdot 10^6 + (100 - 15) 4,19 \cdot 10^3 = 2,608 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг.}$$

Кроме того, при испарении 1 кг воды образуется около $1,7 \text{ м}^3$ пара. Поэтому воздействие воды в виде струи, направленной на горящие материалы, заключается не только в ее охлаждающем действии. Частицы воды разрушают горящие материалы, а образовавшийся пар снижает концентрацию кислорода в атмосфере.

Водные растворы и суспензии. Эффективность действия воды как средства для тушения пожаров повышается при добавлении к ней различного рода ингибиторов, повышающих охлаждающую и антикаталитическую способность воды.

В качестве добавок к воде могут быть применены: двууглекислый натрий NaHCO_3 , поваренная соль NaCl , углекислый натрий

(сода) Na_2CO_3 , хлористый аммоний (нашатырь) NH_4Cl , хлористый кальций CaCl_2 , глауберова соль (серноокислый натрий) Na_2SO_4 , серноокислый магний MgSO_4 , поташ K_2CO_3 , бикарбонат кальция $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, гашеная известь $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и др.

Водные растворы этих веществ имеют повышенную теплоемкость по сравнению с чистой водой, что объясняется более высокой температурой кипения растворов и дополнительным поглощением тепла при разложении солей под влиянием высокой температуры. При набрызгивании некоторых этих растворов на горящие вещества их поверхность покрывается коркой соли, препятствующей доступу воздуха к ним. При разложении карбонатов (Na_2CO_3 , NaHCO_3 и др.) под воздействием высокой температуры образующаяся углекислота снижает концентрацию кислорода в атмосфере.

Дальность действия струй и расход воды при тушении пожаров. Нашими экспериментальными исследованиями (1940, 1948 гг.) подтверждено, что дальность полета цельной струи воды, вытекающей из конического насадка, зависит от давления воды и диаметра выходного отверстия насадки. Количественная зависимость между этими параметрами определяется уравнением

$$L = 4,7 \cdot 10^{-3} k \sqrt[3]{\left(\frac{Hd}{l}\right)^2}, \quad (7)$$

где L — дальность полета эффективной части струи, м;

H — общий напор воды перед насадкой н/м^2 ;

d — диаметр выходного отверстия насадки, м;

l — длина конической части насадки, м;

k — коэффициент, зависящий от диаметра выходного отверстия насадки.

Такая зависимость справедлива для насадок, имеющих диаметр выходного отверстия от 0,01 до 0,021 м при следующих ограничениях: возвышение насадки над почвой выработки 1 м, наклон пожарного ствола 1° , давление воды перед насадкой до $44,13 \times 10^5 \text{ н/м}^2$.

Значения k приведены ниже:

Диаметр выходного отверстия насадки, м	0,010	0,012	0,015	0,017	0,019
Значения k	6,5	6,0	5,5	5,0	4,5

Зависимость $h = f\left(\frac{Hd}{l}\right)$ представлена графически на рис. 29.

Расход воды через конические (пожарные) насадки определяется из уравнения

$$Q = (365,2 - 0,1H) 10^{-4} d^2 \sqrt{H}, \quad \text{м}^3/\text{сек}. \quad (8)$$

Графически зависимость расхода воды (через конические насадки) от напора и диаметра выходного отверстия представлена на рис. 30.

Дальность полета эффективной части разрушенной струи, по-

лучаемой при напоре воды перед насадкой $49,033 \cdot 10^4 \text{ н/м}^2$, достигает 15 м.

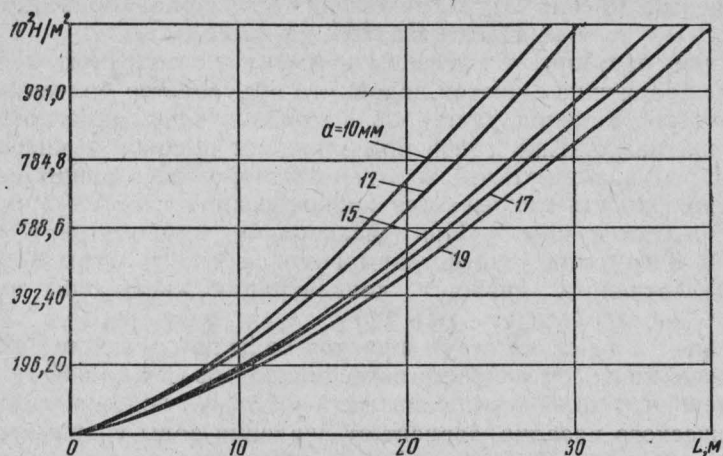


Рис. 29. Кривые для определения эффективной дальности полета водяных струй

Расход жидкости через распыляющее устройство, состоящее из группы центробежных форсунок, определяется по формуле

$$Q = \mu n S V \sqrt{2H}, \quad (9)$$

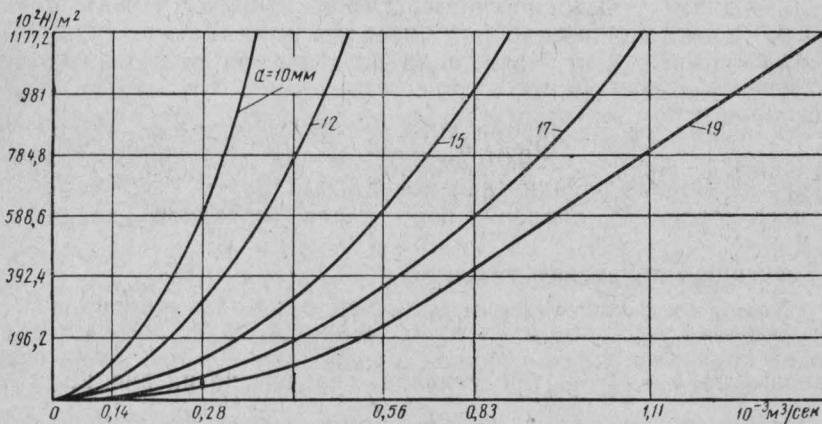


Рис. 30. Кривые для определения расхода воды через конические насадки

где μ — коэффициент расхода общий для группы форсунок;
 S — площадь сечения выходного отверстия форсунки, м^2 ;
 n — количество форсунок.

В зависимости от количества форсунок и диаметра их выходных отверстий коэффициент μ меняется от 0,4 до 0,6.

В результате наших исследований (1950 г.) определено, что глубина водяной завесы, образованной при прохождении воды через щелевые насадки (типа ВС-2 и ствола-распылителя РС), в зависимости от давления воды перед ними может достигать 10 м.

Рис. 31. Кривые для определения расхода воды через щелевые насадки ВС-2

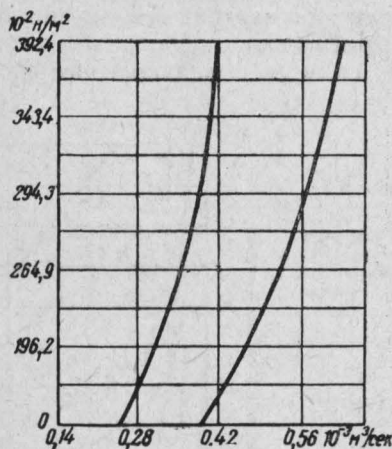


График расхода воды через щелевые насадки ВС-2 в зависимости от напора воды перед ними представлен на рис. 31.

§ 2. ПЕНЫ

Свойства пены. Пена — это двух- или трехфазная система, состоящая из небольших объемов газа, заключенных в жидкие или твердые оболочки, связанных друг с другом и образующих сплошную ячеисто-пленочную систему. Примером твердых пен могут служить пемза, пенобетон, мипора и др.

Жидкие пены представляют собой концентрированную эмульсию какого-либо газа в жидкости, заполняющей пространство между пузырьками газа. Чем больше газа в объеме пены, тем меньше жидкости в каждом пузырьке и тоньше его стенки. Пленка пузырька, стремясь уменьшить свою поверхность, сжимает заключенный в ней газ, который стремится разорвать пленку.

Для сохранения каждого пузырька пены необходимо, чтобы их оболочки были прочными. Жидкости, обладающие большой силой поверхностного натяжения (например, дистиллированная вода), не образуют пен, так как оболочки пузырьков практически мгновенно разрушаются в результате воздействия силы поверхностного натяжения, направленной на уменьшение поверхности жидкости.

При вспенивании поверхность жидкости значительно увеличивается, следовательно, устойчивое пенообразование возможно при снижении величины поверхностного натяжения жидкости и придания оболочкам пузырьков пены структурно-механической прочности, которая оказывает решающее влияние на стойкость пены.

Известна большая группа поверхностно-активных веществ, которые при растворении в жидкостях адсорбируются (сгущаются) в ее поверхностном слое и снижают величину поверхностного натяжения. К поверхностно-активным веществам относятся: керосиновый контакт (вещество, входящее в состав пенообразователя ПО-1), смачиватель ДБ, мылонафт и др.

Прибавление небольших доз этих веществ к воде резко снижает силу ее поверхностного натяжения. При этом снижение по-

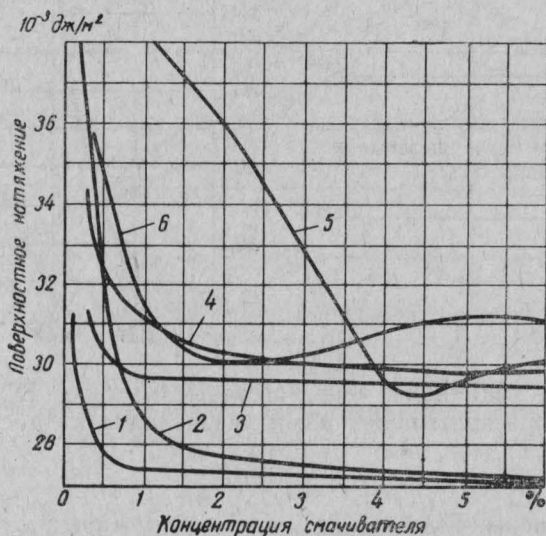


Рис. 32. Кривые зависимости поверхностного натяжения водных растворов смачивателей от концентрации последних в растворе

верхностного натяжения воды не зависит от количества растворенного в ней смачивателя. При небольших концентрациях смачивателя в воде ее поверхностное натяжение снижается очень быстро, однако при дальнейшем добавлении смачивателя к раствору снижение поверхностного натяжения замедляется, а затем прекращается полностью.

На графике¹ (рис. 32) показаны кривые зависимости поверхностного натяжения водных растворов смачивателей от концентрации последних в растворах. Как видно из графика, каждый смачиватель имеет оптимальную концентрацию, характеризующуюся точкой перегиба кривой. Эта концентрация обладает той особенностью, что дальнейшее увеличение ее в растворе почти не вызывает снижения поверхностного натяжения. По данным Цент-

¹ Отчет ЦНИИПО № 14. «Разработка огнетушителя для тушения пожаров веществ, плохо смачивающихся водой». Руководитель Н. И. Мантуров. Заимствовано с согласия руководства ЦНИИПО.

рального научно-исследовательского института противопожарной обороны Министерства охраны общественного порядка СССР (ЦНИИПО), наименьшее поверхностное натяжение водного раствора было достигнуто при применении смачивателя ДБ ($2,75 \cdot 10^{-6}$ Дж/см²) в концентрации 0,5%.

Поверхностное натяжение 4—5-процентного водного раствора пенообразователей ПО-1, ПО-7 и ПО-10 составляет $2,95 \cdot 10^{-6}$, $2,99 \cdot 10^{-6}$ Дж/см². Зависимость поверхностного натяжения водных растворов от концентрации в них смачивателей приведена в табл. 12.

Т а б л и ц а 12

Позиции на рис. 32	Наименование веществ	Поверхностное натяжение (10^{-7} Дж/см ²) растворов при концентрации смачивателя, %						
		0,5	1	2	3	4	5	6
1	ДБ	27,75	27,4	27,3	27,2	27,1	27,1	27,1
2	Фх	31,8	28,5	27,6	27,4	27,5	27,5	27,5
3	ПО-7	30,3	29,6	29,6	29,6	29,5	29,5	29,5
4	ПО-10	32,6	30,9	30,2	29,9	29,9	29,9	29,9
5	ПО-1	—	38,2	35,9	32,5	29,5	29,5	30,1
6	Керосиновый контакт .	34,6	31,25	30,1	30,2	30,75	31,2	31,1

Стойкая пена получается в том случае, если адсорбционный слой молекул поверхностно-активного вещества способен придать оболочкам структурно-механическую прочность, образуя при адсорбировании двухмерный кристаллоподобный или студнеобразный слой. Пенообразующим свойством обладают поверхностно-активные вещества, относящиеся к группе защитных коллоидов, например белковые вещества, щелочные мыла и др. Усиление стойкости пены может быть получено добавлением к защитным коллоидам других веществ (стабилизаторов). Так, при добавлении к желатину (защитный коллоид) гидроокиси железа, получается очень устойчивая пена.

Уменьшение стойкости пены (пеногашение) достигается прибавлением незначительных доз спиртов, сложных эфиров, свободной жирной кислоты.

В зависимости от состава пленки пузырька пены различают двухфазную и трехфазную пены. В двухфазной пене пленка состоит из жидкости и поверхностно-активного вещества, а в трехфазной — из жидкости, поверхностно-активного вещества и стабилизатора.

Устойчивость пен как двухфазной, так и трехфазной значительно изменяется в зависимости от того, с поверхностью какой жидкости или твердого вещества она соприкасается.

По характеру взаимодействия с различными жидкостями и твердыми веществами пены делятся на две группы: 1) гидрофильные пены, у которых дисперсионная среда обладает свойствами

смачиваться водой (пены из водных растворов и др.); 2) гидрофобные пены, дисперсионная среда которых обладает свойствами не смачиваться водой (пены из нефтяных масел и др.).

При попадании пены на поверхность жидкости или твердых веществ, обладающих теми же свойствами (гидрофильная пена на поверхности гидрофильного вещества) происходит практически мгновенное разрушение пены в результате растворения оболочек пузырьков.

Более сложный процесс разрушения пены происходит на поверхности веществ, отличных по своим свойствам от пенообразующего раствора.

Благодаря высоким огнетушительным качествам, обусловленным наличием в ее составе воды, легкости, подвижности и сравнительно небольшому расходу исходных веществ, пена получила широкое применение в пожаротушении. Однако не все пены могут быть применены для тушения пожаров. Тушить горение мыльной или флотационной пенами бесполезно, потому что они мгновенно разрушаются на поверхности горящих материалов.

Устойчивые пены, которые могут быть применены для непосредственного гашения горения, изоляции очагов горения, а также для управления вентиляционными струями, проходят полупромышленные и промышленные испытания. К этим пенам относятся изопена (ФРГ), пена на белковой основе (Китай, Япония), полиуретановая пена (США).

В течение непродолжительного времени после получения такие пены создают твердое пористое покрытие на поверхности материалов, поэтому пригодны для сооружения перемычек и уплотнения стен выработок.

Протеин и специальные стабилизаторы, содержащиеся в растворе для получения пены на белковой основе, при помощи сжатого воздуха создают плотную пену.

Основной частью уретановой пены является гасящий состав, который состоит из полиэфира-полиола, покрывающего поверхность и изолирующего ее от окружающей среды.

Пены, пригодные для тушения горения, должны обладать следующими составами: а) иметь высокую структурно-механическую прочность (достаточно долго сохраняться на поверхности горящих материалов); б) обладать достаточной стойкостью по отношению к разрушающему действию лучистой теплоты, открытого пламени и накаливаемых металлических конструкций; в) хорошо растекаться, т. е. покрывать равномерным слоем всю поверхность горящих материалов.

В 1904 г. русским инженером А. Г. Лораном впервые была применена пена для тушения пожаров. Он же разработал специальные пенообразующие составы и способы получения эффективных огнегасительных пен.

Существуют два основных способа получения пен: при помощи химической реакции между кислотными и щелочными раство-

рами в присутствии пенообразующего вещества (химическая пена) и механического смешения воздуха (или другого газа) с водным раствором пенообразующего вещества (воздушно-механическая пена).

Воздушно-механическая пена получила наиболее широкое применение для тушения пожаров, начиная с 1938 г.

Опытами по разрушению пен от теплового воздействия, проведенными в ЦНИИПО, установлено, что воздушно-механическая пена из пенообразователя ПО-1 при прохождении через нагретую зону практически полностью разрушается уже при 400°C , стойкость же пен химической и воздушно-механической из пенообразователя ПО-6 резко уменьшается лишь при температуре около 800°C . Такая повышенная стойкость пены объясняется тем, что белковые вещества, входящие в состав пенообразователя ПО-6, при высоких температурах как бы спекаются, придавая пене высокую структурную прочность.

Проведенные опыты по определению электрического сопротивления пенообразующего раствора и воздушно-механической пены дали следующие результаты.

Удельное электрическое сопротивление раствора ПО-1 (около 4%) и водопроводной воды составляет около 3000 ом. Опыты по определению электрического сопротивления струи воздушно-механической пены проводились с постоянным и переменным током. Давление в резервуаре с пенообразующим раствором поддерживалось около $4,9 \cdot 10^5 \text{ н/м}^2$, диаметр spryska был равен 8 мм. Реакция пены была нейтральная.

При опытах с постоянным током напряжением от 110 до 400 в прохождения тока даже при длине струи в 50 мм не наблюдалось.

В опытах с переменным током частотой 50 пер/сек напряжение изменялось от 115 до 1000 в. Результаты опытов с переменным электрическим током сведены в табл. 13.

Т а б л и ц а 13

Напряжение в сети, в	Сила тока, ма, проходящего через струю пены, в зависимости от ее длины, мм		
	100	200	300
115—127	0,5	0,1	0,2
220—240	0,9	0,4	0,17
360—380	1,8	0,7	0,30
500—520	2,6	1,1	0,5
640—660	2,8	1,4	0,7
740—760	3,2	1,9	0,9
740—860	4,5	2,0	1,00
980—1000	6,5	2,8	1,30

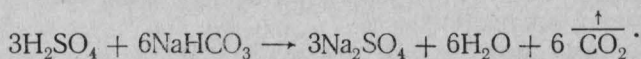
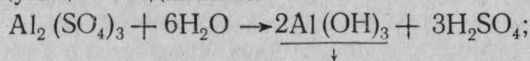
Максимальная сила тока, прошедшего через струю воздушно-механической пены, достигла 6,5 ма при напряжении тока в сети 980—1000 в и длине струи 100 мм. Многие специалисты считают,

что действие электрического тока силой менее 0,6 ма человеком не ощущается.

Получение химической пены. Химическая пена представляет собой концентрированную эмульсию углекислого газа в водном растворе минеральных солей, включающем пенообразующее вещество. В ней содержится около 80% углекислого газа, 19,7% жидкости (водного раствора) и 0,3% пенообразующего вещества. Для получения и использования химической пены при тушении пожаров в горных выработках применяют химические густопенные ручные огнетушители ОП-3.

Химическая пена образуется в результате реагирования кислотного и щелочного растворов. В кислотный раствор входит соль какой-либо кислоты (обычно серной в виде сернокислого глинозема) и вода; в щелочной раствор — углекислая щелочь (обычно бикарбонат натрия) с добавкой пенообразующего вещества (солодкового экстракта, сапонины и др.) и вода. Солодковый экстракт содержит около 17% (в пересчете на сухое вещество) поверхностно-активного вещества — глицерезина (глицерретина), который представляет собой аммонитную соль аморфной глицерретировой кислоты $C_{30}H_{46}O_4$.

В ходе реакции между кислотным и щелочным растворами образуются следующие соединения:



Образующаяся углекислота равномерно насыщает всю массу жидкости и обеспечивает давление в закрытом сосуде.

Углекислый газ обволакивается пленкой из водного раствора продуктов реакции, образуя пузырьки пены. В пленках пузырьков адсорбируются частицы поверхностно-активного вещества из солодкового экстракта или сапонины, что обеспечивает стойкость пены. Поверхностно-активным веществом сапонины является карбоновая кислота.

Гидроокиси алюминия $Al(OH)_3$, образующиеся при химической реакции, выпадают в виде коллоидных частиц и, осаждаясь на пленках пузырьков пены, повышают структурно-механическую прочность пены.

Химическая пена не является эффективным средством тушения гидрофильных легковоспламеняющихся жидкостей. Чтобы придать ей еще большую стойкость, в состав реагирующих масс вводят хозяйственное мыло.

При реагировании раствора кислоты с пенообразующим веществом, входящим в щелочной раствор, происходит разложение мыла серной кислотой:



После этого оболочка пузырьков пены покрывается пленкой жирной кислоты, которая предохраняет водную пленку от воздействия гидрофильной жидкости (спирта).

Получение воздушно-механической пены. Воздушно-механическая пена представляет собой концентрированную эмульсию воздуха в водном растворе пенообразующего вещества. Главное отличие ее от химической пены заключается в том, что в ее пузырьках содержится воздух, а не углекислый газ.

Для приготовления воздушно-механической пены применяется пенообразующие вещества, среди которых наиболее распространены ПО-1 и ПО-6.

В состав пенообразователей входят поверхностно-активные вещества и стабилизаторы пены. Поверхностно-активным веществом в ПО-1 является натриевая соль суфонафтенной кислоты $C_{20}H_{27}O_2$, стабилизатором — костный клей (желатин).

Водные растворы натриевой соли суфонафтенной кислоты имеют пониженное поверхностное натяжение и легко вспениваются. Вследствие того, что ее молекулы не склонны к гелеобразованию¹ адсорбционном слое, стойкость такой пены невелика. С прибавлением к ней желатина поверхностная активность раствора натриевой соли суфонафтенной кислоты уменьшается, а пена становится более устойчивой вследствие того, что коллоидные частицы клея образуют в пленке пузырьков защитный гелеобразный слой, придавая тем самым пене структурно-механическую прочность.

Поверхностно-активным веществом в пенообразователе ПО-6 является гидролизированный протеин (белок), и стабилизатором — сернокислое закисное железо.

Основными характеристиками воздушно-механической и химической пены являются кратность, стойкость и вязкость.

Кратностью называется, отношение объема пены к объему жидкости, из которой получена эта пена.

Стойкость пены определяется временем разрушения ее на воздухе (точнее на поверхности той жидкости, из которой пена образована).

Степень разрушения пены определяется изменением объема ее с течением времени.

За меру стойкости воздушно-механической и химической пены условно принято время разрушения 20% объема пены.

Вязкость пен характеризуется способностью их растекаться на поверхности жидких и твердых материалов и противостоять внешнему механическому разрушающему воздействию.

Воздушно-механическая пена кратности 1000—700, обладая высокой подвижностью, может в виде потока, заполняющего все сечение выработки, доставляться к очагу горения вентиляционной струей, обходя встречающиеся на пути препятствия (завалы, вагонетки и т. д.). При этом уменьшение интенсивности горения на-

¹ Гель — эластичный студень, образованный коллоидным раствором.

ступает вскоре после того, как движущимся потоком пены заполнено все сечение выработки за счет уменьшения поступления воздуха, а также перенасыщения воздушного потока водяными парами. Поток пены при непосредственном контакте с нагретыми и горящими предметами охлаждает их своей жидкой фазой.

Воздушно-механическая пена может получаться следующими способами: а) барботированием воздуха через слой пенообразующего раствора; б) механическим перемешиванием раствора; в) взбалтыванием; г) эжектированием воздуха струей пенообразующего раствора в воздушно-пенном стволе; д) продавливанием пенообразующего раствора через пористые перегородки.

При тушении пожаров в горных выработках воздушно-механическую пену получают двумя способами: эжектированием воздуха струей пенообразующего раствора в воздушно-пенном стволе и продавливанием пенообразующего раствора через пористые перегородки.

Воздушно-механическая пена, получаемая в передвижном огне-тушителе МВП-5 при пропускании пенообразующего раствора через воздушно-пенный ствол, имеет небольшую кратность (около 10) и строго определенную производительность — около 5 м^3 в течение 4—4,5 мин.

Проведенными исследованиями в Англии и СССР (ЦНИЛ по горноспасательному делу, г. Донецк) убедительно доказана возможность тушения пожаров в горных выработках потоком воздушно-механической пены высокой кратности.

Опытами, проведенными в ЦНИЛ по горноспасательному делу (В. М. Сухаревский, Б. Л. Злотин и А. А. Гродский, 1958), установлено, что воздушно-механическая пена, имеющая кратность около 1000, хорошо перемещается воздушным потоком (скорость выше 2 м/сек) по горизонтальным, а также вверх и вниз по наклонным и вертикальным выработкам. Пена кратностью от 600 до 800 хорошо перемещается под влиянием собственного веса сверху вниз в наклонных и вертикальных выработках навстречу движению вентиляционного потока, скорость которого не превышает $1,5 \text{ м/сек}$. Такой поток пены при заполнении всего сечения выработки гасит горящие материалы, которые размещены по сечению выработки в достаточно больших количествах. Механизм тушения горения пенным потоком заключается в том, что пена, содержащая в 1 м^3 около 1 кг и более пенообразующей жидкости, изолирует горящие материалы от атмосферы выработок и при соприкосновении с горящими и нагретыми предметами достаточно интенсивно охлаждает их.

Для получения воздушно-механической пены применялся пенообразующий раствор, состоящий из 4—5% пенообразователя ПО-1 и 96—95% воды. Такой раствор после прохождения специальной разбрызгивающей насадки под давлением $2,94 \cdot 10^5$ — $3,923 \cdot 10^5 \text{ н/м}^2$ набрызгивался на текстильную или многослойную металлическую сетку. Наиболее рациональным является сочетание трех сеток, изго-

товленных из проволоки диаметром 1 мм с ячейками 3×3 и 4×4 мм. Расстояние между сетками 20—25 мм.

Для получения пены высокой кратности (1000) количество набрызгиваемого на сетки пенообразующего раствора должно составлять 0,004 объема воздуха, проходящего по выработке.

В качестве текстильной сетки может быть использована грубая антисептированная или капроновая ткань, имеющая ячейки 1×1 или 2×2 мм.

Экспериментально определено, что хорошей пористой перегородкой для получения пены является одинарный слой канвы.

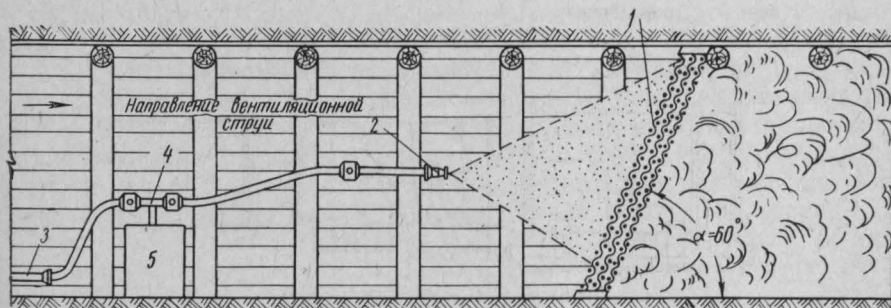


Рис. 33. Схема получения и транспортировки воздушно-механической пены высокой кратности в горных выработках

Механизм получения пены состоит в том, что при набрызгивании пенообразующего раствора на сетку в ее ячейках образуются пленки, которые раздуваются воздушным потоком в пузырьки. Пузырьки, слипаясь, образуют пену, которую вентиляционная струя отрывает от сетки и перемещает по выработке.

Способ получения воздушно-механической пены высокой кратности, как отмечалось выше, заключается в продавливании пенообразующего раствора через пористую перегородку (сетку).

В зависимости от способа транспортирования пены высокой кратности в горных выработках применяется различное оборудование для ее получения.

Пена для заполнения всего сечения выработки и транспортирования ее вентиляционным потоком производится следующим образом.

В выработке, подлежащей заполнению пенным потоком, через все сечение устанавливаются металлическую или текстильную сетку 1, 2 (рис. 33), на которую набрызгивается мелко разбрызгиваемый раствор пенообразователя из распылительной насадки 3. Пенообразующий раствор получается в смесителе 4, куда поступают пенообразователь из резервуара 5 и вода из водяной магистрали. Пенообразователь из резервуара поступает в смеситель в результате вакуума, создаваемого водой, протекающей в камере смеси-

теля. При достаточной подаче пенообразующего раствора на сетку непрерывно образуется пена в количестве, достаточном для заполнения пенным потоком всего сечения выработки.

Количество подаваемого на сетку раствора должно соответствовать скорости вентиляционной струи и при пересчете на 1 м^2 поперечного сечения выработки составляет величины, представленные ниже.

Скорость вентиляционной струи, м/сек	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5
Количество пенообразующего раствора на 1 м^2 сечения выработки, $10^{-3} \text{ м}^3/\text{сек}$	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6

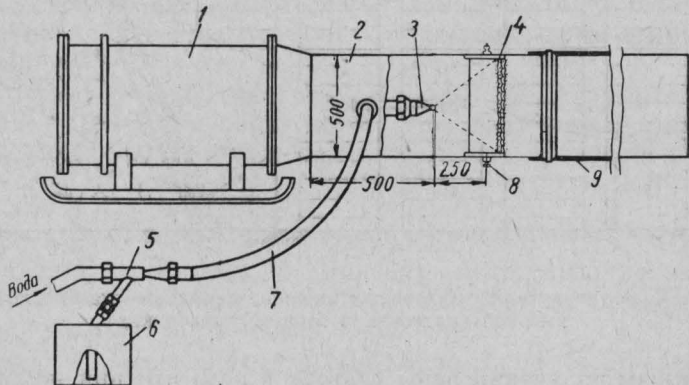


Рис. 34. Пеногенераторная установка для получения воздушно-механической пены высокой кратности

Получение пены высокой кратности для заполнения камер или наклонных и вертикальных выработок сверху вниз при ее перемещении за счет собственной силы тяжести получается при помощи пеногенераторных установок.

Пеногенераторная установка для получения пены состоит (рис. 34) из вентилятора местного проветривания 1 (типа ВМ-200), к которому крепится труба 2. Внутри трубы помещается распылительная насадка 3 производительностью $0,166 \text{ м}^3/\text{сек}$ при создаваемом перед нею напоре 4 ат и три металлические сетки 4 с ячейками 3×3 и $4 \times 4 \text{ мм}$ или две тканевые сетки с ячейками 2×2 и $3 \times 3 \text{ мм}$. Сетки крепятся в трубе стопорными винтами 8.

Принцип действия пеногенераторной установки заключается в следующем. Вода из специального насоса или шахтного противопожарного трубопровода поступает к смесителю 5, где приготавливается пенообразующий раствор. Проходя через смеситель под давлением $5,884 \cdot 10^5$ — $7,845 \cdot 10^5 \text{ н/м}^2$, вода эжектирует из бака 6 пенообразователь в количестве 4—5% от количества раствора, выбра-

сывающегося из распылительной насадки. Получившийся в смесителе пенообразующий раствор поступает по пожарному рукаву 7 к распылительной насадке, откуда в распыленном виде выбрасывается на сетку. От водораспылительной насадки сетка устанавливается на расстоянии, обеспечивающем полный охват ее поверхности факелом распыленного пенообразующего раствора.

В этой установке пена получается по тому же принципу, что и в первом случае, т. е. при совместном прохождении через сетки пенообразующего раствора и воздуха, подаваемого вентилятором в трубу 9.

Пена, выходящая из установки, имеет кратность 500—700 и способна двигаться вниз навстречу вентиляционной струе, скорость которой не превышает 1,5 м/сек.

Производительность установки около 2,5 м³/сек пены.

При получении воздушно-механической пены высокой кратности (500—1000) вода перед распылительной насадкой должна подаваться под напором не ниже $3,923 \cdot 10^5$ н/м². Для обеспечения этого условия давление воды перед смесителем должно достигать $6,865 \cdot 10^5$ — $7,845 \cdot 10^5$ н/м². При отсутствии воды в выработках для получения воздушно-механической пены высокой кратности применяются огнетушители МВП-5. Так как в корпусе огнетушителя находится приготовленный раствор пенообразователя, то в схеме ее для получения пены выпадает узел «смеситель и бачок с пенообразователем» и пенообразующий раствор из корпуса огнетушителя поступает под давлением $2,942 \cdot 10^5$ — $3,933 \cdot 10^5$ н/м² непосредственно в распылительную насадку.

Определение расхода пенообразователя для заполнения выработок пеной. При заполнении выработок пеной необходимо предварительно подсчитать расход воды и пенообразователя.

Если выработка имеет объем E , м³, то, принимая коэффициент разрушения пены $k_p=0,5$, получим, что для заполнения выработки необходимо иметь $2E$, м³ пены.

Так как кратность пены для заполнения выработки равна K , то в этом объеме содержится $\frac{2E}{K}$ пенообразующего раствора.

Учитывая, что в растворе находится 4—5% пенообразователя, то для приготовления раствора потребуется воды

$$Q_v = \frac{1,9E}{K}, \text{ м}^3, \quad (10)$$

а пенообразователя

$$Q_{\text{п}} = \frac{0,1E}{K}, \text{ м}^3. \quad (11)$$

Например, если необходимо заполнить пеной объем выработок 5000 м³, то для приготовления воздушно-механической пены потребуется воды

$$Q_v = \frac{1,9 \cdot 5000}{1000} = 9,5 \text{ м}^3$$

и пенообразователя

$$Q_n = \frac{0,1 \cdot 5000}{1000} = 0,5 \text{ м}^3.$$

§ 3. ИНЕРТНЫЕ ГАЗЫ И ПОРОШКОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Для тушения пожаров применяются также инертные газы и порошковые материалы, которые обладают свойствами антикатализаторов (ингибиторов) и не поддерживают горения.

Таковыми свойствами обладают следующие газы: углекислота, азот, сернистый ангидрид, водяной пар, гелий, неон, аргон, криптон, ксенон, дымовые газы и различные их смеси.

Однако практическое применение для тушения подземных пожаров имеют главным образом углекислота, азот и дымовые газы.

Применение сернистого газа ограничено ввиду его коррозионного действия на черные металлы.

Такие инертные газы как гелий, аргон, неон, криптон и ксенон являются редкими газами, а поэтому их применение экономически невыгодно.

В дополнение к основным антикаталитическим свойствам инертных газов существенное значение имеют их тепловые свойства и транспортабельность.

В связи с тем, что в уравнение баланса энергии движущегося газа входит изменение его энтальпии, то тепловые свойства различных газов удобно выражать с помощью энтальпии, которая равна сумме внутренней энергии газа U и работе расширения при постоянном давлении pV , т. е.

$$I = U + pV. \quad (12)$$

Изменение энтальпии $\Delta I = I_2 - I_1$ определяет эффективность теплообмена в пожарном участке.

Характерной величиной, которой определяется изменение температуры газовых смесей по теплосохранению ($\Delta I = \Delta Q = C_p \Delta t$) являются их теплоемкости (c_p или c_v).

Для тушения пожаров применяют также порошковые (измельченные) материалы: инертная пыль, кварцевый песок, двууглекислый натрий NaHCO_3 , инфузорная земля и др.

Углекислота. Углекислота — бесцветный газ со слабым вкусом и запахом. Удельный вес по отношению к воздуху 1,529. Она не горит и не поддерживает горения. Ядовита в слабой степени. Токсические действия углекислоты (при содержании ее в воздухе свыше 4%) проявляются в раздражении дыхательных путей, появлении шума в ушах, головной боли, психическом возбуждении и др. При содержании ее в воздухе 5—10% ощущается легкое жжение и покалывание на поверхности кожи. При нормальных условиях ($t = 15^\circ \text{C}$ и $H = 1,01325 \text{ н/м}^2$) 1 м^3 газообразной углекислоты весит 1,815 кг.

Растворимость углекислоты в воде, измеряемая литрами газообразного CO_2 в 10^{-3} м^3 воды, с повышением температуры изменяется следующим образом:

температура, °С	0	10	20	25	30
растворимость	1,17	1,19	0,88	0,76	0,36

Углекислота может существовать в одном из трех агрегатных состояний — твердом, жидком и газообразном в зависимости от ее температуры и давления, под которым она находится.

В твердом и парообразном состоянии углекислота находится при температуре от -134 до -56°С . При этом каждой температуре соответствует определенное давление насыщения. При давлениях, значения которых меньше давления насыщения, или температурах более высоких, чем температура насыщения при данном давлении, твердая углекислота испаряется и переходит в газообразное состояние (сублимация).

Отпрессованная твердая углекислота (сухой лед) при нормальной температуре испаряется сравнительно медленно, а при температуре около 800°С — почти мгновенно с образованием больших объемов газообразного CO_2 (около $1,5 \text{ м}^3/\text{кг}$).

Теплота парообразования r может быть вычислена из уравнения

$$r = I'' - I',$$

где I'' — энтальпия паров CO_2 , $\text{дж}/\text{кг}$;

I' — энтальпия твердого CO_2 , $\text{дж}/\text{кг}$.

Значение r незначительно изменяется с температурой испарения и при температуре $t = -78^\circ\text{С}$ (что соответствует давлению насыщенных паров CO_2 при давлении $98066,5 \text{ н}/\text{м}^2$ (1 атм)).

$$r_t = 5,737 \cdot 10^5, \text{ дж}/\text{кг}.$$

Учитывая, что теплоемкость газообразной углекислоты при давлении $98066,5 \text{ н}/\text{м}^2$ незначительно зависит от температуры и составляет в среднем $1,005 \cdot 10^3 \text{ дж}/\text{кг} \cdot \text{град}$, можно заключить, что при испарении твердой углекислоты поглощается столько же тепла, сколько и при последующем нагревании ее паров до температуры 600°С .

Температуре $-56,6^\circ\text{С}$ соответствует так называемая тройная точка состояния углекислоты. При давлении $5,178 \cdot 10^5 \text{ н}/\text{м}^2$ и температуре $-56,6^\circ\text{С}$ твердая углекислота плавится и переходит в жидкое состояние. При давлении ниже $5,178 \cdot 10^5 \text{ н}/\text{м}^2$ и температуре $-56,6^\circ\text{С}$ углекислота переходит в парообразное состояние, минуя образование жидкой фазы.

При температуре от $-56,6$ до $31,04^\circ\text{С}$ углекислота существует в жидком и газообразном состоянии, причем каждой температуре соответствует определенное давление насыщения. Так, например,

при температуре 15°C давление насыщенных паров составляет $50,995 \cdot 10^5 \text{ н/м}^2$, а при меньшем давлении жидкая углекислота при этой же температуре переходит в газообразное состояние.

Теплота испарения жидкой углекислоты уменьшается с повышением температуры от $3,475 \cdot 10^5 \text{ дж/кг}$ (при температуре $-56,6^{\circ}\text{C}$) до 0 (при температуре $31,04^{\circ}\text{C}$).

При температуре $t=15^{\circ}\text{C}$ теплота испарения $r=1,8 \cdot 10^5 \text{ дж/кг}$, а энтальпии жидкой и парообразной углекислоты при давлении газа, равном $50,995 \cdot 10^5 \text{ н/м}^2$, составляют:

$$I'_t = 4,6055 \cdot 10^5 \text{ дж/кг};$$

$$I''_t = 6,406 \cdot 10^5 \text{ дж/кг}.$$

Известно, что уравнение баланса энергии для жидкости или газа может быть определено из уравнения

$$Q_n = \Delta I + \frac{1}{A} \Delta \frac{w^2}{2g}, \quad (13)$$

где Q_n — подведенное тепло к газу извне;

ΔI — изменение теплосодержания газа (жидкости);

$\frac{1}{A} \Delta \frac{w^2}{2g}$ — изменение кинетической энергии газа (жидкости).

Если величиной $\frac{1}{2Ag} \Delta w^2$ в сравнении ΔI можно пренебречь, то из уравнения (13) получим

$$Q_n = \Delta I, \quad (13a)$$

т. е. количество отнятого тепла может быть приравнено изменению теплосодержания газа (жидкости).

Так, при быстром испарении жидкой углекислоты и расширении образовавшихся паров до атмосферного давления (выпуск из баллона) энтальпия этих паров при 15°C составляет $7,2013 \times 10^5 \text{ дж/кг}$, а при 0°C — $7,118 \cdot 10^5 \text{ дж/кг}$.

Вследствие того, что процесс расширения газа происходит чрезвычайно быстро, температура окружающей среды остается неизменной и можно допустить, что торможение газа произойдет при его температуре, равной температуре среды. Этому допущению в уравнении (13) соответствует значение $\Delta \frac{w^2}{2g} = 0$. Поэтому для случая выпуска углекислоты из баллона уравнение (13a) справедливо. Подставляя численные значения в это уравнение, находим, что

$$Q_n = (7,2013 - 4,6055) 10^5 = 2,596 \cdot 10^5 \text{ дж/кг}.$$

При испарении жидкая углекислота увеличивается в объеме в 400 раз, в то время как при испарении сухого льда и при нагрева-

нии газообразной углекислоты до 15 °С первоначальный объем возрастает в 925 раз.

При температуре свыше 31,04 °С углекислота находится в газообразном состоянии независимо от давления.

Теплоемкость c_p двуокиси углерода незначительно изменяется с температурой (на 0,1% на 1 °С) и в среднем равна $1,005 \times 10^3 \text{ Дж/кг} \cdot \text{град}$ (рис. 35).

Изменение энтальпии с температурой газообразной углекислоты при атмосферном давлении можно определить по формуле

$$I_r = (7,118 + 0,01005t) 10^5. \quad (14)$$

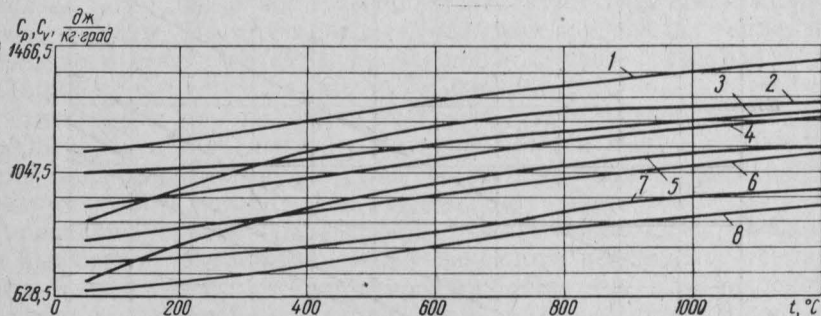


Рис. 35. Кривые теплоемкостей газов и водяного пара:

1 — C_p (продукты сгорания саратовского газа), 2 — $C_p \text{CO}_2$; 3 — $C_p \text{N}_2$; 4 — C_p (продукты сгорания мазута), 5 — $C_v \text{CO}_2$; 6 — C_v (продукты сгорания саратовского газа, 7 — $C_v \text{N}_2$; 8 — C_v (продукты сгорания мазута)

При испарении сухого льда и последующем нагревании его паров изменение его энтальпии равно

$$\Delta I_T = I_r - I_T, \quad (15)$$

где I_T — энтальпия сухого льда при $t = -78^\circ \text{C}$.

$$I_T = 6,699 \cdot 10^4 \text{ Дж/кг}.$$

Подставляя в формулу (15) значение $I_T = 6,699 \cdot 10^4 \text{ Дж/кг}$ и I_r из уравнения (14) получаем

$$\Delta I_T = (6,448 + 0,01005t) 10^5. \quad (15a)$$

Аналогично, при истечении жидкой углекислоты из баллона получаем

$$\Delta I_{ж} = (2,5121 + 0,01005t) 10^5. \quad (16)$$

Энтальпия при истечении углекислоты в газообразном состоянии из баллона под давлением в $50,995 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$ и расширении до атмосферного давления изменяется по формуле

$$\Delta I_r = (0,7586 + 0,01005t) 10^5. \quad (17)$$

При применении газообразной углекислоты с начальной температурой 15 °С и атмосферном давлении энтальпия изменяется по формуле

$$\Delta I'' = (0,01005t - 0,1507) 10^5. \quad (18)$$

Графики изменения энтальпии ΔI для твердой, жидкой и газообразной углекислоты представлены на рис. 36.

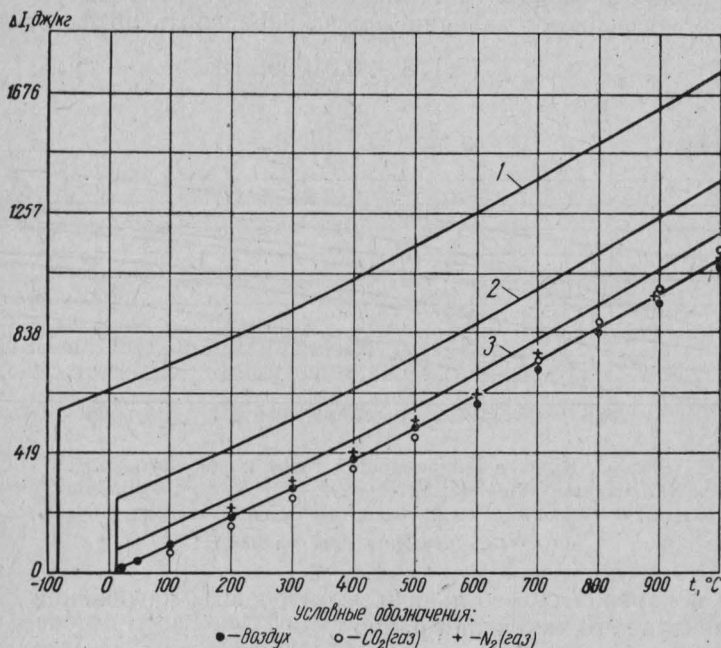


Рис. 36. Кривые изменения энтальпии (ΔI) газов и водяного пара:

1 — CO_2 в твердом состоянии, 2 — CO_2 в жидком состоянии, 3 — газообразные N_2 и CO_2

Наибольшую способность поглощения тепла имеет углекислота, находящаяся в твердом состоянии. При испарении 1 кг сухого льда и последующем нагревании его паров до 15 °С поглощается тепла в два с половиной раза больше, чем при испарении 1 кг жидкой углекислоты. В свою очередь, 1 кг жидкой углекислоты при испарении поглощает в три раза больше тепла, чем 1 кг газообразной углекислоты, истекающей в атмосферу под начальным давлением $50,995 \cdot 10^5 \text{ н/м}^2$. Самую низкую способность поглощения тепла имеют газообразная углекислота, а также азот и воздух, применяемые при атмосферном давлении.

Учитывая трудности хранения и транспортировки сухого льда, а также большие скорости его испарения, применять его для тушения пожаров наиболее рационально в вертикальных и наклонных

выработках. В этих выработках в район очага пожара сухой лед может перемещаться под действием собственной силы тяжести.

Жидкая углекислота более удобна для хранения, транспортировки и подачи ее к очагу горения на значительное расстояние. При хранении и транспортировке она содержится в металлических баллонах Б-40 емкостью 40 л. При объемном весе жидкой углекислоты $V_{ж}=1,34 \text{ г/кг}$ в баллон Б-40 вмещается около 30 кг жидкой углекислоты, что соответствует при $V_r=0,55 \text{ м}^3/\text{кг}$ (при 15°C и давлении $101\,325 \text{ н/м}^2=760 \text{ мм рт. ст.}$) около $16,5 \text{ м}^3$ газообразной углекислоты. В баллонах жидкая углекислота находится под давлением насыщенных паров, образующихся над ее поверхностью. В связи с этим давление в баллонах зависит от температуры окружающей среды. Из этого следует, что съём количества тепла, поглощаемого углекислотой, заключенной в жидком состоянии в одном баллоне Б-40 составит около $76,3624 \cdot 10^5 \text{ Дж}$.

Углекислота из баллона может истекать в газообразном или жидком виде в зависимости от организации ее выпуска. При хорошей организации выпуска углекислоты из баллона в жидком состоянии скорость ее истечения увеличивается примерно в два раза, по сравнению с истечением в газообразном виде. Следовательно, при выпуске из баллона жидкой углекислоты поглощение тепла в единицу времени также будет большим. Поэтому для ускорения выпуска углекислоты из баллона, а вместе с этим повышения скорости поглощения тепла транспортные баллоны Б-40 необходимо оборудовать сифонными трубками или выпускать углекислоту из опрокинутых вниз вентилями баллонов. Для повышения скорости истечения жидкой углекислоты баллоны необходимо оборудовать специальными вентилями УВ-11.

Азот. Азот при обычных условиях — газ, без цвета, запаха и вкуса. Удельный вес азота по отношению к воздуху 0,97. При обычной температуре химически малоактивен. Не горит и не поддерживает горения. При нормальных условиях (температура 15°C и давлении $1,01325 \text{ н/м}^2$) удельный вес азота составляет $11,5326 \text{ н/м}^3$. В нормальном воздухе азота содержится около 79% по объему.

Критические постоянные для азота следующие: $t_{кр}=-147,2^\circ\text{C}$, т. е. при больших температурах он всегда находится в газообразном состоянии; $p_{кр}=32,852 \cdot 10^5 \text{ н/м}^2$, т. е. при этом давлении и выше и критической температуре $t_{кр}$ азот находится в жидком состоянии.

Тройная точка агрегатного состояния азота характеризуется параметрами $t_{пл}=-210^\circ\text{C}$ и $p=12533,6 \text{ н/м}^2$.

При давлении в $98066,5 \text{ н/м}^2$ температура кипения азота $t_{кип}=-195,8^\circ\text{C}$.

Растворимость газообразного азота в воде невелика и уменьшается с увеличением температуры: при 0°C и $98066,5 \text{ н/м}^2$ в 10^{-3} м^3 воды растворяется $23,5 \text{ см}^3$ азота, а при 25°C $14,3 \text{ см}^3$.

При температуре плавления азота его энтальпия равна нулю.

При дальнейшем увеличении температуры влияние давления на величину энтальпии сказывается еще менее заметно и в интервале температур 0—800 °С и при давлении 98066,5 н/м² значение энтальпии хорошо описывается уравнением

$$I_N = (4,815 + 0,01047t) 10^5. \quad (19)$$

Приращение энтальпии газообразного азота с увеличением температуры при атмосферном давлении изменяется аналогично с приращением энтальпии СО₂, истекаемой из баллона в газообразном состоянии, и может быть выражена зависимостью

$$\Delta I'_N = (0,20934 + 0,01047t) 10^5. \quad (20)$$

Итак, газообразный азот, будучи сжат в баллонах до 98,0665 · 10⁵ н/м², не обладает способностью к значительному поглощению тепла при расширении до атмосферного давления, так как его энтальпия при этом почти не изменяется. После расширения до атмосферного давления азота, заключенного в баллоне, объем его составит около 4 м³.

Для охлаждения очагов горения эффективнее применять азот в твердом и жидком состоянии.

Водяной пар. При испарении 10⁻³ м³ воды получается около 1,7 м³ пара.

В смеси с воздухом водяной пар снижает в нем концентрацию кислорода и при содержании пара в воздухе свыше 30% смесь неспособна поддерживать горение.

Изменение теплоемкости c_p и c_v водяного пара в зависимости от температуры представлено графиком на рис. 35.

В отличие от инертных газов водяной пар обладает сравнительно высокими значениями теплоемкости — около $2,0934 \times 10^3$ дж/кг · град, т.е. в два раза выше, чем у азота и углекислоты.

Исходя из этого, можно предположить, что пар мог бы с большим успехом применяться для тушения пожаров в горных выработках. Однако вследствие того, что температура насыщения при нормальном давлении для водяного пара составляет 100 °С, снизить температуру в пожарном участке ниже 100 °С нельзя. Поэтому применять водяной пар при таких температурах как единственное средство для тушения очагов горения в горных выработках не имеет смысла.

Кроме того, выпуск водяного пара может увеличить тепловую депрессию в пожарном участке и способствовать опрокидыванию вентиляционной струи.

Дымовые газы. Как было отмечено выше, для тушения пожаров в горных выработках могут применяться продукты сгорания (дымовые и топочные газы) различных горючих материалов. Продукты сгорания представляют собой смесь газов СО₂, N₂, O₂, H₂O (пар) и SO₂.

При неполном сгорании веществ вышеперечисленные продукты горения пополняются CO , H_2 , углеводородами и сажей.

Процентное содержание отдельных компонентов в смеси дымовых газов колеблется и зависит от состава топлива, конструкции топки и режима горения (избыток воздуха, поступающего в зону горения).

В зависимости от режима горения и горючего материала содержание кислорода в дымовых газах колеблется от 4 до 8%.

Такое содержание кислорода не является препятствием для применения дымовых газов в качестве средства для тушения пожаров, однако для образования не поддерживающей горения газовой среды расход дымовых газов должен быть в несколько раз больше, чем углекислого газа или азота.

Эффективность охлаждения пожарного участка дымовыми газами зависит от их тепловых свойств. Поэтому возникает необходимость в рассмотрении эффекта поглощения тепла дымовыми газами.

Изменение теплоемкостей c_p и c_v продуктов сгорания мазута и природного газа (Саратовского) в зависимости от изменения их температур показано кривыми (см. рис. 35). На основании этих данных следует, что среднее значение теплоемкости c_p продуктов сгорания мазута в промежутке температур 100—1200 °C составляет $1,034 \cdot 10^3 \text{ Дж/кг} \cdot \text{град}$, т. е. примерно такое же, как у CO_2 и N_2 . Отсюда следует, что изменение энтальпии, а стало быть и количество отнимаемого тепла на единицу массы у продуктов сгорания мазута, азота и углекислоты практически одинаково.

Среднее значение теплоемкости c_p продуктов сгорания природного газа (саратовского) в интервале температур 100—1200 °C составляет $1,214 \cdot 10^3 \text{ Дж/кг} \cdot \text{град}$, т. е. на 20% выше, чем у азота и углекислоты. В связи с этим изменение энтальпии на единицу массы продуктов сгорания природного газа будет также на 20% больше в равных условиях, чем у углекислоты и азота.

В практических условиях для тушения пожаров могут быть использованы дымовые газы котельных установок производств, а также полученные при сжигании природного газа, мазута и угля.

Затраты на получение дымовых газов значительно меньше, чем получение инертных газов. Однако, если учесть, что полученные дымовые газы нуждаются в охлаждении и транспортировании к очагу пожара, эти преимущества значительно снижаются.

Сжигание топлива в подземных условиях для получения дымовых газов вблизи от пожарного участка весьма затруднительно, но использование продуктов горения из пожарного участка для тушения горения в этом же участке вполне возможно.

Инертная пыль, песок и порошки. Инертная пыль, приготовленная из глинистых сланцев и известняка, обыкновенный кварцевый песок, а также зола и перегоревшие породы отвалов шахт и обогажительных фабрик являются эффективным средством для борьбы с очагами горения. Так, в течение 1953—1962 гг. по отдельным

месторождениям и бассейнам только песком и инертной пылью потушено от 5 до 25,9% пожаров (Карагандинский бассейн), а по всем угольным месторождениям и бассейнам СССР 13,4%. Кроме этого, в течение того же периода времени, применяя комбинированные ручные химические пенные огнетушители и песок или инертную пыль, по отдельным угольным месторождениям СССР было потушено пожаров до 58,6% (Карагандинский бассейн), а по всем угольным месторождениям и бассейнам СССР до 23,1%.

К числу преимуществ сыпучих инертных материалов следует отнести также простоту их применения, небольшую стоимость и значительное их распространение в горных выработках.

Песок, стандартная инертная пыль и зола обладают способностью отнимать тепло у горящих материалов, изолировать их от атмосферы, а также допускают безопасное и эффективное тушение горящих предметов, находящихся под электрическим током. В тех случаях, когда трудно или небезопасно приблизиться вплотную к очагу пожара для засыпки горячей поверхности достаточно толстым слоем, песок или инертная пыль могут транспортироваться к очагу пожара по трубам сжатым воздухом или, что значительно эффективнее и безопаснее, инертными газами.

Инертная пыль в качестве огнегасительного средства эффективнее песка, так как она более мелкая и менее газопроницаема в слое. Однако инертная пыль легко увлекается воздушной струей, труднее прилипает к обсыпавшей поверхности и при пользовании ею в выработках образуется пыльное облако, затрудняющее дыхание и видимость. Известковой пылью можно быстрее потушить огонь, чем сланцевой.

Известковая пыль под действием высокой температуры распадается на негашеную известь и углекислый газ ($\text{CaCO}_3 = \text{CaO} + \text{CO}_2$).

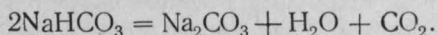
Образующиеся компоненты CaO и CO_2 оказывают следующие воздействия на очаг горения. Углекислота снижает содержание кислорода в атмосфере, а твердый остаток CaO (негашеная известь) при смачивании водой образует гашеную известь, которая пленкообразно обволакивает горящие и нагретые материалы. Такая пленка на горящих материалах способствует прекращению горения и предупреждает возможность возникновения нового пожара.

Инертная пыль, распространяясь в выработках во взвешенном состоянии, охлаждает нагретые предметы и, оседая на крепи, на поверхности и в трещинах стенок, препятствует доступу воздуха к горючим материалам и обеспечивает их изоляцию в участке. Количество вдуваемой пыли должно составлять не менее 3—5 кг на 1 м³ охваченного пожаром пространства.

Измельченный бикарбонат натрия (двууглекислая сода) является главным рабочим компонентом сухих (порошковых) огнетушителей, к которому примешивают различные инертные материа-

лы в порошкообразном виде — инфузорная земля (кизельгур), толченый кирпич и т. п.

Огнегасительное действие двууглекислой соды заключается в следующем. Под влиянием тепла бикарбонат натрия распадается на соду и углекислый газ и воду;



Углекислый газ, пары воды и порошковые материалы снижают содержание кислорода в атмосфере и уменьшают интенсивность горения. В тех местах, где температура сохраняется достаточно высокой (выше 800 °С) получившаяся вода обволакивает нагретые материалы и этим также способствует ликвидации горения.

Глава IX

СПОСОБЫ НЕПОСРЕДСТВЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОЧАГ ГОРЕНИЯ

При тушении пожаров, как известно, добиваются осуществления двух основных видов воздействия на очаг горения: создания инертной среды (не поддерживающей горения) вокруг очага горения и охлаждения поверхностей выработки до безопасной температуры (нормальной температуры в выработке). Наибольший эффект тушения пожаров достигается при совмещении этих обоих видов воздействия на очаг горения.

Пожар может быть потушен только охлаждением стен выработки и горящих материалов или только поддержанием в пожарном участке инертной среды. Применяя только охлаждение очага горения и инертный съем тепла, например мощной струей воды, пожар и его последствия могут быть ликвидированы в течение непродолжительного времени.

Значительно более продолжительным во времени является процесс тушения пожара посредством ограничения поступления воздуха к очагу горения (образование инертной смеси газов). В этом случае создание инертной смеси, а вместе с ней и прекращение горения может быть произведено в течение непродолжительного времени. Однако охлаждение в пожарном участке, особенно после продолжительного интенсивного горения, может продолжаться длительный период времени.

В некоторых особых случаях одним из видов борьбы с пожарами в горных выработках является его изоляция или локализация, прежде всего ограничивающие распространение горения в выработках.

Способы воздействия на очаг горения в горных выработках можно классифицировать на следующие: непосредственное воздействие на очаг горения, локализация пожарных очагов, изоляция пожарных участков, дистанционное тушение пожаров.

§ 1. НЕПОСРЕДСТВЕННОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ОЧАГ ГОРЕНИЯ ВОДОЙ

Если человек может находиться в непосредственной близости от очага горения (2—5 м), то для тушения последнего вода может применяться в виде струй, выбрасываемых давлением из насадок. В зависимости от конструкции насадок вода в очаги горения подается в виде компактной или слегка разрушенной струи или разбрызгивается по всему сечению выработки.

Способ непосредственного воздействия целесообразно применять для тушения пожаров, которые получили особое развитие в горных выработках и длина их зоны горения не превышает дальности эффективной подачи воды.

Дальность полета компактных струй из конических насадок может быть определена по формуле (7) и графически (см. рис. 29).

Расход воды через насадки определяется из зависимостей (8) и (9), а также графически (см. рис. 30, 31).

Компактные струи воды получаются при прохождении воды через пожарные стволы ПС, СА, КРБ.

Равномерно разбрызгивать воду по сечению выработки можно, пропуская ее через щелевые насадки (типа ВС и ствола РС). Щелевые насадки типа ВС применяются в водоразбрызгивателях МВР-3 и могут присоединяться к стволам ПС.

Мелкодисперсное распыление воды по сечению выработок может осуществляться через группу центробежных или пневматических форсунок, составляющих водораспылительный агрегат. Для распыления воды в центробежных форсунках необходимо, чтобы давление воды перед ними было $14,71 \cdot 10^5$ — $19,613 \cdot 10^5$ н/м². При распылении воды при помощи пневматических форсунок необходимо, чтобы давление воды перед форсунками было около $3,923 \cdot 10^5$ н/м² и сжатого воздуха — $4,903 \cdot 10^5$ н/м².

Следует отметить, что при достаточном перекрытии струями длины зон очагов горения наилучшей эффективностью обладают струи, вода которых более равномерно разбрызгана по сечению выработки. В этом случае коэффициент использования воды наибольший, и менее вероятно образование больших количеств паров воды, которое может вызвать обрушение пород и причинить ожоги. Применение воды, разбрызгиваемой по сечению выработок, делает маловероятным образование взрывчатой смеси газов (водорода), которая может образоваться за счет диссоциации воды, попадающей большой массой на мощный очаг горения с температурой свыше 1200 °С. Компактная же струя воды, пролетая на близком расстоянии от очагов горения и не охлаждая их, может вызвать усиление горения. Горение усиливается за счет того, что струя воды создает дополнительный приток эжектируемого ею воздуха к очагу горения и оттесняет продукты горения.

При тушении мощных очагов горения компактной струей следует учитывать возможность обильного парообразования и образования взрывчатой смеси газов. В случае мгновенного и обильно-

го образования водяных паров, так же как и при взрыве газов, в очаге горения возникает дополнительное сопротивление вентиляционной струе, а также повышается тепловая депрессия очага пожара. Это неизбежно приведет к значительным местным тепловым движениям, которые могут серьезно повлиять на режим проветривания участка. В таких случаях охлаждение горящих и нагретых масс следует начинать с окраин очага (наиболее низкой температурой) и постепенно приближать струю воды к ядру очага, где вначале была максимальная температура и сосредоточено наибольшее количество тепла. При тушении очагов эндогенных пожаров воду можно применять только для заливки горящих и нагретых угля и пород, которые предназначаются для удаления на поверхность земли.

Горение в трещинах целиков угля и на их поверхности необходимо тушить водной суспензией гашеной извести. При этом концентрация гашеной извести должна составлять около 5—8%.

Нецелесообразно применять воду (кроме мелкодисперсного распыления) для тушения горящих жидкостей, которые легче воды и не смешиваются с ней. В таких случаях вода будет погружаться на дно резервуара, в котором содержится горящая жидкость, не прекращая горения на поверхности этой жидкости. При этом может случиться, что вода вытеснит часть горящей жидкости из резервуара и тем самым увеличит площадь горения.

Вода, представляющая собой раствор электропроводных солей, обладает хорошей электропроводностью, а поэтому ею нельзя гасить оборудование, находящееся под током.

Недопустимо тушить водой и ее растворами легко окисляющиеся вещества. Легкие металлы, например калий, натрий, продолжают гореть на воде; калий, натрий и кальций выделяют из воды водород, который в смеси с воздухом может образовать взрывчатую смесь газов; карбиды (например, карбид кальция CaC_2) при взаимодействии с водой дают ацетилен C_2H_2 .

Опасно подвергать обильному увлажнению химические соединения (например, негашеная известь), которая, вступая в реакцию с водой, выделяет так много тепла, что соприкасающиеся с ними горючие материалы могут воспламениться.

§ 2. ПРИМЕНЕНИЕ ПЕН ДЛЯ НЕПОСРЕДСТВЕННОГО ТУШЕНИЯ ОЧАГОВ ГОРЕНИЯ

В выработках угольных шахт СССР в течение 1946—1962 гг. химической и воздушно-механической пеной кратностью до 10, а также применением этих пен совместно с инертной пылью и водой потушено пожаров (в процентах от общего количества экзогенных пожаров) от 33 (Кузнецкий бассейн) до 85 (Урал и Ростовская область); по всем угольным бассейнам и месторождениям СССР до 70%.

В течение 1953—1962 гг. количество подземных пожаров, по-

тушенных только пеной кратностью до 10, составляло от 22,2% (Кузнецкий бассейн) до 85% (Урал). По всем угольным месторождениям СССР химической пеной потушено около 45,3% экзогенных пожаров.

Воздушно-механическую пену высокой кратности рационально применять только для тушения начинающих пожаров.

Предельная дальность полета эффективной части пенной струи около 9 м. Продолжительность действия огнетушителя ОП-3 около 60 сек. Под давлением углекислого газа из корпуса огнетушителя истекает струя, в состав которой входит пена и частично жидкость, не успевшая образовать пену. Удельный вес химической пены составляет около 1569—2451,6 кг/м³.

Пенная струя ручных химических огнетушителей ОП-3 хорошо сбивает пламя и ликвидирует горение древесины, угля, резиновых оболочек кабелей, резиновых транспортных лент и других твердых веществ, а также легковоспламеняющихся жидкостей.

Опытным определением эффективности действия ручных огнетушителей при тушении очагов горения нами (В. М. Сухаревский и В. М. Жадан, 1957 г.) установлено следующее.

Пеной, полученной в одном химическом огнетушителе ОП-1 или ОП-3, можно потушить очаг горения древесины (влажностью 11—14%), сложенной в костры, весом в 20, 25 и 30 кг, а также горение на поверхности около 4 м² горящей деревянной крепи выработок. Пеной одного из этих огнетушителей можно погасить горение резиновой оболочки двух кабелей типа ГРШС 3×25+1×10 длиной около 6 м каждый из подвешенных на трех опорах.

Струя, истекаемая из химических огнетушителей, является электропроводной, поэтому при гашении такой пеной горения на электрооборудовании необходимо перед началом тушения выключать ток и обязательно работать в резиновых сапогах и перчатках.

Химическая пена пригодна для тушения горения на поверхности жидких горючих веществ. Однако для предупреждения погружения ее в горящую жидкость, необходимо чтобы струя пены касалась поверхности жидкости под малым углом (пена должна почти скользить по поверхности).

Химические ручные пенные огнетушители ОП-3 приспособлены для переноса одним человеком. Размещаются они в определенных местах шахтных выработок, в противопожарном поезде и на пожарной автомашине ВГСЧ.

Для непосредственного воздействия на слаборазвитые очаги горения твердых материалов, а также горючих жидкостей применяют воздушно-механическую пену кратностью около 10. Удельный вес такой пены около 100—125 кг/м³.

Воздушно-пенный огнетушитель МВП-5 может находиться в составе противопожарного поезда и доставляется к месту тушения очага горения по рельсовому пути. Стационарный воздушно-пенный огнетушитель размещается в камерах и предназначается для тушения пожаров в них.

Механизм получения воздушно-механической пены в МВП-5 заключается в следующем. В корпусе огнетушителя 4 (рис. 37) емкостью около $0,5 \text{ м}^3$, заполненном раствором пенообразователя ($0,4875 \text{ м}^3$ воды и $0,0125 \text{ м}^3$ пенообразователя), создается необходимое давление сжатым воздухом, поступающим из баллона 6. Из баллона воздух вытекает под начальным давлением $117,68 \times 10^5 \text{ н/м}^2$, которое при прохождении через редуктор 5 снижается

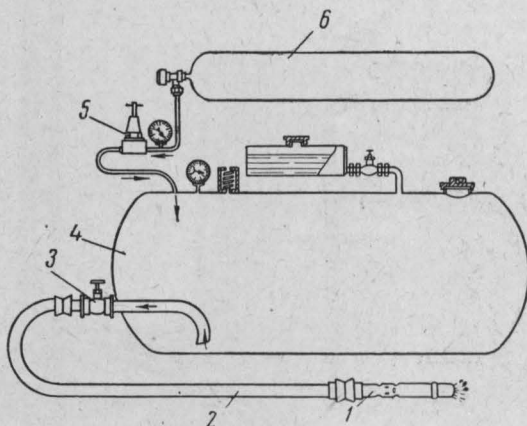


Рис. 37. Схема воздушно-пенного огнетушителя МВП-5

до рабочего давления. После открытия вентиля 3 пенообразующий раствор по шлангу 2 течет в воздушно-пенный ствол 1, где и образуется пена.

В воздушно-пенном стволе раствор под давлением $3,923 \times 10^5 - 4,9 \cdot 10^5 \text{ н/м}^2$ (для рукавной линии длиной от 10 до 40 м) истекает в виде струи через коническую насадку с диаметром выходного отверстия 5—7,5 мм. На пути движения струи раствора пенообразователя происходит эжекция воздуха из окружающей атмосферы через отверстия в корпусе ствола. Затем струя жидкости и воздух, увлекаемый ею, встречаются с турбулизирующим устройством, у которого струя разрушается и перемешивается с воздухом, образуя воздушно-механическую пену.

Длина полета пенной струи 10—15 м. Продолжительность действия огнетушителя до полного освобождения его корпуса от раствора колеблется от 8 до 17 мин (зависит от диаметра насадки ствола). В связи с этим производительность огнетушителя от 10^{-2} до $1,5 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3/\text{сек}$.

Стационарный воздушно-пенный огнетушитель (рис. 38) ВПСУ-2 представляет собой герметический стальной сосуд 1, к которому прикреплены стальной баллон 2 емкостью 12 л, редуктор типа РДС-50 или РК-50, манометр 3, предохранительный кла-

пан, выпускной клапан 4, прорезиненный шланг 5 и воздушно-пенный ствол 6.

Принцип получения пены в стационарном огнетушителе такой же, как и в МВП-5. Основным отличием их является производительность и продолжительность действия.

Корпус огнетушителя ВПСУ-2 (вертикальный цилиндр) имеет емкость около 200 л. Объем пены, образующейся при прохожде-

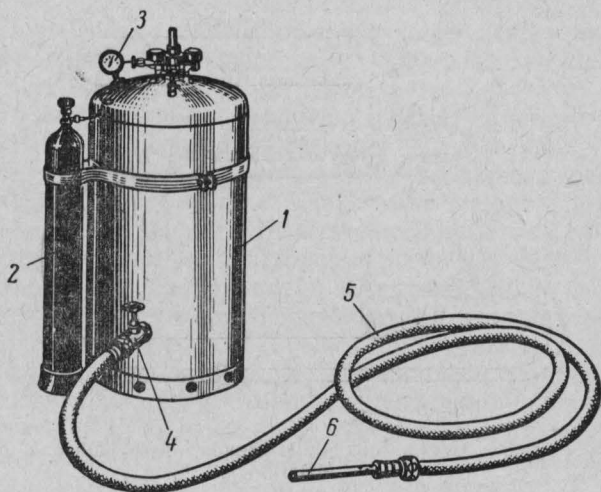


Рис. 38. Стационарный воздушно-пенный огнетушитель ВПСУ-2

нии раствора через воздушно-пенный ствол, составляет $1,8—2 \text{ м}^3$. Давление в корпусе огнетушителя должно быть около $4,903 \times 10^5 \text{ н/м}^2$. Воздушно-пенный ствол снабжен конической насадкой с диаметром выходного отверстия 5 мм. Выкидной прорезиненный шланг, по которому раствор поступает к воздушно-пенному стволу, имеет в диаметре 38 мм и в длину 20 м.

Производительность ВПСУ-2 составляет около $5,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{сек}$ пены, а продолжительность его действия около 8 мин. Дальность полета пены до 10 м.

В выработках, в которых имеется трубопровод с водой под давлением $3,923 \cdot 10^5—4,903 \cdot 10^5 \text{ н/м}^2$, воздушно-механическая пена получается при помощи воздушно-пенного ствола ВПС-М-2. В комплект этого ствола (рис. 39) входит сосуд для пенообразователя емкостью $2 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3$, приспособленный для ношения на спине, прорезиненный шланг диаметром 50 мм, длиной около 40 м, прорезиненный шланг диаметром 12 мм, длиной 1 м.

Действие такого ствола основано на том, что вода из трубопровода по шлангу поступает в ствол, где, проходя через насадку

с диаметром выходного отверстия 10 мм, засасывает из сосуда пенообразователь. В смесительной камере ствола приготавливается пенообразующий раствор, который после прохождения через конусообразную насадку поступает в диффузор ствола. В этой части ствола пена образуется по принципу, описанному выше.

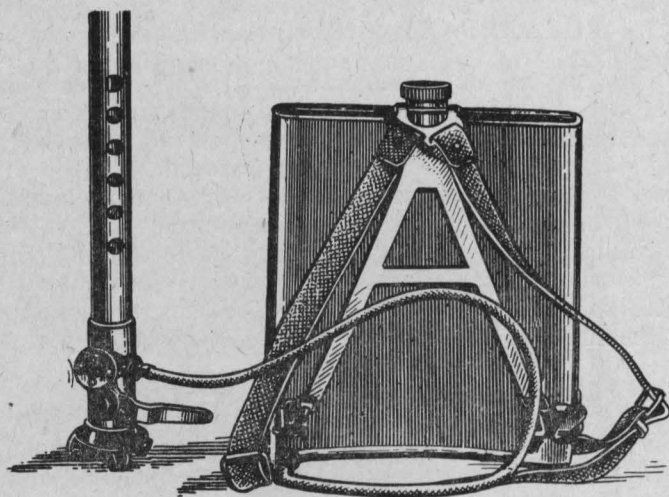


Рис. 39. Воздушно-пенный ранцевый ствол ВПСМ-2

Производительность такого ствола около $2 \cdot 10^{-2}$ м³/сек пены. При использовании всего пенообразователя, содержащегося в сосуде ($2 \cdot 10^{-2}$ м³), образуется около 6,5 м³ пены в течение около 5 мин. Дальность полета пены примерно 15 м.

§ 3. ПРИМЕНЕНИЕ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ НЕПОСРЕДСТВЕННОГО ТУШЕНИЯ ОЧАГОВ ГОРЕНИЯ

Очаги горения в самом начале их возникновения при воспламенении смазочных и обтирочных материалов, а также при возникших пожарах в электромашинных камерах и у мест смазки вагонеток необходимо тушить инертной пылью и песком.

Для тушения такого рода очагов могут быть применены порошковые огнетушители типа «Тоталь» («Тайфун»), в которых в качестве заряда применяется измельченный бикарбонат и инертная пыль.

Главной составной частью заряда этих сухих огнетушителей является бикарбонат натрия NaHCO_3 , который равномерно измельчен (порошок) и смешан с порошками инертных материалов (инертная пыль, инфузорная земля — кизельгур, толченный кирпич и т. д.). Эта смесь порошков под действием газообразной углекислоты выбрасывается из сопла огнетушителя в виде струи.

Сухие огнетушители могут успешно применяться в горных выработках для тушения в самом начале возникновения горения, когда поверхность горения невелика.

Глава X

ЛОКАЛИЗАЦИЯ ОЧАГОВ ПОЖАРА

В тех случаях, когда возникший пожар не удалось потушить в самом начале и в дальнейшем нет возможности для его быстрой ликвидации, необходимо проводить мероприятия, которые ограничивали бы распространение горения и пожарных газов в горных выработках, а также способствовали бы затуханию очага пожара.

Горение в выработках можно локализовать, если на пути возможного распространения пожара устраивать водяные завесы и создавать негорючие зоны покрытием горючих материалов огнезащитной пленкой или удалением части горючих материалов (разборкой деревянной крепи, обрушением боковых пород и т. д.).

§ 1. ПРИМЕНЕНИЕ ВОДЯНЫХ ЗАВЕС

Применение этого способа борьбы с пожарами не снижает интенсивности горения материалов. Основной целью при этом является установление границ для выгорания горючих материалов. В пространстве между установленными рубежами допускается беспрепятственное горение и только после выгорания горючих материалов горение должно полностью прекратиться или значительно уменьшиться. Охлажденные водяной завесой газы продолжают двигаться в направлении движения вентиляционной струи.

Теплообмен между пожарными газами и водой происходит при их противотоке. Эффективное действие такого теплообмена заключается в охлаждении пожарных газов до безопасной в пожарном отношении температуры. После прохождения водяной завесы пожарные газы должны иметь температуру ниже 100°C , при которой исключается возможность воспламенения угля и дерева в зоне завесы и после нее.

Вода по сечению выработки для создания водяной завесы может разбрызгиваться при помощи ствола ПС с присоединенной к нему щелевой насадкой ВС-2 или водоразбрызгивателем МВР-3.

Для создания водяной завесы давление воды перед насадками должно быть не менее $1,471 \cdot 10^5 \text{ н/м}^2$.

Схема размещения водоразбрызгивателя МВР-3 на шахтной вагонетке для устройства завесы в горизонтальных и наклонных выработках показана на рис. 40.

Для устройства завесы в вертикальной выработке водоразбрызгиватель МВР-3 необходимо укреплять на подъемном или другом каком-либо канате (рис. 41).

Эффективность охлаждения пожарных газов водяной завесой

обусловлена температурой и скоростью движения газов, плотностью воды в завесе и ее глубиной. Под плотностью завесы понимается количество равномерно разбрызганной по сечению воды, которое приходится в единицу времени на 1 м^2 сечения выработки.

Протяженность эффективной части водяной завесы по длине выработки называют глубиной завесы, которая зависит от давления воды перед насадками и скорости вентиляционного потока.

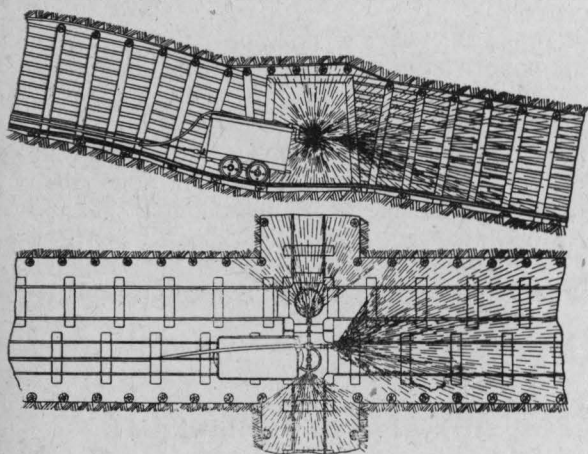


Рис. 40. Схема укрепления водоразбрызгивателя МВР-3 на шахтной вагонетке

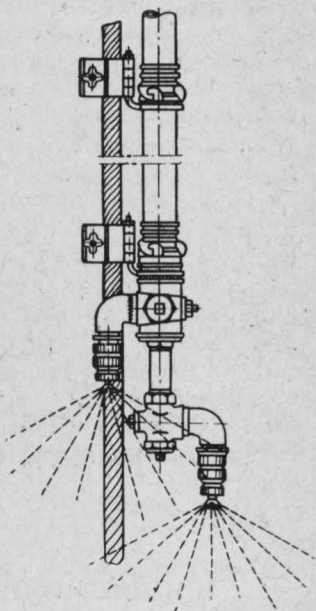


Рис. 41. Схема закрепления водоразбрызгивателя МВР-3 на подъемном канате

На основании результатов опытного исследования по охлаждению пожарных газов водяной завесой (1946 г.) следует, что достаточное охлаждение пожарных газов происходит при истечении из насадок воды в количестве $0,4 \cdot 10^{-3}—0,8 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{сек}$ на 1 м^2 сечения выработки.

§ 2. СОЗДАНИЕ НЕГОРЮЧИХ ЗОН

Ограничить распространение горения в выработках можно покрытием горючих материалов, расположенных на пути перемещения очага горения, огнезащитными пленками, т. е. созданием трудносгораемой зоны. При этом длина участка выработки, в которой создана трудносгораемая зона, должна быть не менее 60 м. Для обмазок горючих материалов могут быть использованы испытанные нами коллоидные растворы.

С особой тщательностью должны покрываться пленкой места соединений элементов деревянной крепи. Распространение горения

можно также ограничить удалением деревянных затяжек за металлическими и деревянными стойками-рамами, а также всей деревянной крепи на расстоянии около 40 м.

Удаляются все деревянные затяжки, а рамы крепи в случае необходимости частично или полностью могут быть оставлены.

Иногда при постановке водяной завесы, а также создании негорючей зоны приходится изменять направление движения вентиляционной струи. В таких случаях необходимо перед очагом пожара со стороны свежей струи установить водяную завесу, а затем, после удаления людей из всех выработок, по которым будут транспортироваться пожарные газы, изменить направление движения вентиляционной струи.

После реверсирования струи на участке пожара горение может быть потушено со стороны нового направления поступающей струи воздуха.

Если же по каким-либо причинам горение не может быть ликвидировано в течение непродолжительного срока, а сохранение измененного режима проветривания на длительное время недопустимо, то после проведения мероприятий, ограничивающих распространение горения, восстанавливается первоначальный вентиляционный режим. После этого горение в участке будет продолжаться до выгорания горючих материалов в зоне локализации пожара.

Глава XI

ИЗОЛЯЦИЯ ОЧАГОВ ПОЖАРА ПЕРЕМЫЧКАМИ

§ 1. ГАЗОПРОНИЦАЕМОСТЬ ПЕРЕМЫЧЕК

При отсутствии подхода к очагу пожара или действенных средств для борьбы с пожарами очаги горения изолируются специальными перемычками.

Перемычки в зависимости от их назначения делятся на временные и постоянные.

Временные перемычки, обычно легко сооружаемые, обладают значительной газопроницаемостью и слабой прочностью.

Временными перемычками уменьшается поступление воздуха в пожарный участок, снижается интенсивность горения и создаются удовлетворительные условия для сооружения постоянных перемычек.

Основное назначение постоянных перемычек — сохранить изоляцию участка на все время борьбы с пожаром и оказать сопротивление динамическим (взрывы газов в пожарном участке) и статическим (затопление участка водой) нагрузкам.

При выборе материалов для перемычек необходимо учитывать кроме газопроницаемости, прочности и стоимости также их транспортабельность.

Для возведения перемычек применяются главным образом бре-

зент, дерево (в виде досок и обрезков шахтных стоек), глина из-весть, песок, инертная пыль, кирпич, щебенка и др.

Из этих материалов возводятся следующие перемычки: брезен-товые (парусные); щитовые из досок; щитовые двойные с запол-нением пространства между досками или обаполами глиной, пе-ском, золой или инертной пылью; торцовые (чураковые) из обрез-ков шахтных стоек длиной от 0,5 до 1 м, сложенных на растворе глины или других вяжущих материалов; кирпичные; железобетон-ные и многослойные.

Многослойные перемычки, в которых слои сделаны из различ-ных материалов, имеют большую герметичность и прочность.

На основе анализа результатов исследований газопроницаемо-сти противопожарных перемычек (П. И. Воронов, М. И. Ольхов-ский, 1937 г., В. М. Маевская, С. С. Шановская, 1946 г.) следует, что проникновение газов через перемычки, так же как и через материалы, из кото-рых они сооружены, находится в прямой зави-симости от пористости материала, площади поверхности перемычек и от перепада давлений между внутренними и внешними слоями перемычек.

Поэтому можно принять, что газопроницаемость однослойных противопожарных перемычек должна определяться уравнением

$$Q = kF \left(\frac{p_1 - p_2}{h} \right)^n, \quad (21)$$

где Q — количество газов, проникающих через перемычку, $\text{м}^3/\text{сек}$;

k — коэффициент фильтрации, $\text{м}^2(\text{сек} \cdot \text{н}/\text{м}^2)$;

F — площадь поверхности перемычки, м^2 ;

p_1 и p_2 — давление на сторонах перемычек, $\text{н}/\text{м}^2$;

h — толщина перемычки, м;

n — показатель степени, зависящий от характера потока, и изменяется от 0,5 при турбулентном потоке до 1 при ламинарном.

Переход от ламинарного режима в турбулентный совершается после того, как средняя скорость движения воздуха становится равной или больше критической, которая зависит от свойств газов и условий движения.

Поэтому критическая скорость для любого случая движения любой жидкости и любого диаметра труб может быть определена из уравнения

$$\omega_{\text{кр}} = 2200 \frac{v}{d},$$

где 2200 — критическое значение Re ;

d — диаметр, трубы;

v — кинематическая вязкость жидкости.

При некруглых сечениях каналов и горных выработок в число Re вместо d подставляется значение гидравлического диаметра

$$d_{\text{гидр}} = \frac{4S}{P},$$

где S — площадь поперечного сечения канала (выработки);
 P — ее периметр.

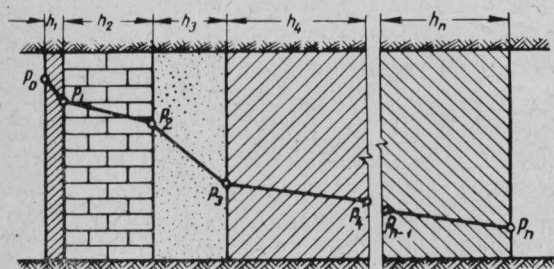


Рис. 42. Схема газопроницаемости многослойной перемычки

Для воздуха при температуре 20°C и давлении $101\,325\text{ н/м}^2$, протекающего в каналах пористого тела, гидравлические диаметры которых не превышают $0,2\text{ мм}$,

$$\omega_{\text{кр}} = 14,9\text{ м/сек.}$$

Учитывая, что разность давлений на стороны перемычек, изолирующих пожар, только в весьма редких случаях достигает $1961,3\text{ н/м}^2$, скорость движения воздуха будет значительно ниже $14,9\text{ м/сек.}$

Следовательно, движение воздуха и газов через пористые стенки однослойной перемычки будет иметь ламинарный характер, а уравнение (21) примет вид:

$$Q = kF \frac{p_1 - p_2}{h}. \quad (22)$$

Газопроницаемость многослойной перемычки, слои которой установлены (рис. 42) вплотную один к другому и сделаны из разных материалов, определяется сопротивлением фильтрации всех слоев перемычки.

Для случая установившегося потока газов через перемычку принимаем следующие обозначения:

$h = h_1 + h_2 + h_3 + \dots + h_n$ — толщина слоев перемычки;

k_1, k_2, \dots, k_n — коэффициенты фильтрации слоев;

p_1, p_2, \dots, p_n — установившиеся давления на границах слоев перемычки;

F_1, F_2, \dots, F_n — площади сечений слоев перемычек;

Q — количество газов, проходящее через слои перемычки.

При установившемся потоке газов через перемычку, согласно уравнению (21), фильтрация газов через перемычку составит

$$Q = k_1 F_1 \frac{p_0 - p_1}{h_1} = k_2 F_2 \frac{p_1 - p_2}{h_2} = \dots = k_n F_n \frac{p_{n-1} - p_n}{h_n},$$

откуда

$$p_0 - p_1 = Q \frac{h_1}{k_1 F_1}; \quad p_1 - p_2 = Q \frac{h_2}{k_2 F_2}; \quad \dots; \quad p_{n-1} - p_n = Q \frac{h_n}{k_n F_n}.$$

Складывая эти равенства, получаем

$$Q = \frac{p_0 - p_n}{\frac{h_1}{k_1 F_1} + \frac{h_2}{k_2 F_2} + \dots + \frac{h_n}{k_n F_n}}. \quad (23)$$

При $F_1 = F_2 = \dots = F_n$ уравнение (23) принимает вид:

$$Q = \frac{F(p_0 - p_n)}{\frac{h_1}{k_1} + \frac{h_2}{k_2} + \dots + \frac{h_n}{k_n}}. \quad (24)$$

Значение коэффициента k для материалов и конструкций перемычек приведено в табл. 14.

Песок обладает наибольшей газопроницаемостью, которая с уменьшением размеров песчинок и увеличением плотности трамбовки уменьшается.

Значительная газопроницаемость глины в сухом виде с увеличением влажности снижается.

Газопроницаемость деревянных чураковых (торцовых) перемычек выше, чем глины.

Кирпичные, бетонитовые и бетонные стенки имеют меньшую газопроницаемость, чем все перечисленные выше материалы и при этом во влажном виде они имеют также меньшую газопроницаемость, чем в сухом. Покрытие перемычек штукатуркой снижает их газопроницаемость.

Весьма незначительной газопроницаемостью обладает слой инертной пыли. Повышение влажности на 2—3% резко повышает газопроницаемость слоя инертной пыли.

Для уменьшения газопроницаемости пожарного участка перемычки следует располагать в наиболее прочных и менее газопроницаемых породах и места их заложения выбирать с таким расчетом, чтобы разница давлений во внешних сторонах перемычек, которыми закрывается участок, была минимальной. Некоторый перепад давления между внешними и внутренними сторонами перемычек все же будет возникать вследствие изменения барометрического давления, охлаждения газов и конденсации водяных паров.

Учитывая газопроницаемость материалов пожарных перемычек, можно прийти к выводу, что даже самой тщательной изоляцией пожарного участка не может быть гарантировано прекращение горения в нем.

Таблица 14

Характеристика материала для сооружения перемычек	Значение коэффициента фильтрации $K \cdot 10^{-5} \frac{м^2}{сек \cdot м/м^2}$	
	сухой материал	влажный материал
Песок		
Немытый и несеяный:		
свободно засыпанный	1,58	0,19
тщательно трамбованный	0,85	0,65
Мытый, несеяный:		
свободно засыпанный	1,70	1,53
тщательно трамбованный	1,19	1,10
Немытый, размеры песчинок 0,5—1,0 мм:		
свободно засыпанный	1,39	1,02
тщательно трамбованный	0,74	0,68
Немытый, размеры песчинок 0,5—0,25 мм		
свободно засыпанный	0,14	0,13
тщательно трамбованный	0,07	0,04
Мытый, размеры песчинок 0,1—0,25 мм:		
свободно засыпанный	0,14	0,13
тщательно трамбованный	0,11	0,04
Глина		
Челябинский буроугольный рудник	0,07	0,001
Подмосковная измельченная	0,16	0,011
Донецкая:		
естественной влажности	0,014	0,011
с примесью 5% извести	0,029	0,02
с примесью 50% извести	0,054	0,04
Стандартная инертная пыль:		
просушенная	$0,99 \cdot 10^{-4}$	—
влажностью 0,9%	—	$1,56 \cdot 10^{-4}$
влажностью 1,9%	—	$2,83 \cdot 10^{-4}$
влажностью 2,2%	—	$3,4 \cdot 10^{-4}$
Кирпич:		
обыкновенный, слабо обожженный	$4,53 \cdot 10^{-4}$	$16,98 \cdot 10^{-4}$
обыкновенный красный кирпич	0,10	0,023
бетонит на цементно-известковом растворе	0,26	1,06
бут на глиняном растворе	0,71	0,49
глиняные блоки на цементно-известковом растворе	0,068	0,0143
Бетон:		
обыкновенный литой	$4,25 \cdot 10^{-4}$	—
Дерево:		
ель	$0,85 \cdot 10^{-4}$	—
дуб	$0,20 \cdot 10^{-4}$	—
круглые сосновые обрезки, сложенные на глиняном растворе	0,498	0,36
Растворы:		
цементно-известковый	0,01	—
цементный раствор	$4,39 \cdot 10^{-4}$	—

§ 2. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ЗАКРЫТИЯ ПЕРЕМЫЧЕК

При изоляции пожарных участков применяют различные последовательности закрытия перемычек на входящих и исходящих струях, которые заключаются в следующем:

сначала закрываются перемычки на поступающей струе и лишь затем возводятся перемычки на исходящей струе;

в первую очередь закрываются перемычки на исходящей струе, а затем на поступающей;

одновременно возводят и закрывают перемычки на поступающей и исходящей струях.

В угольных бассейнах СССР принято при изоляции пожарных участков закрывать перемычки в следующей последовательности: одновременно на поступающей и исходящей струях или на поступающей струе в первую очередь.

Сооружение перемычек на поступающей струе имеет следующие преимущества: прекращается поступление свежего воздуха к пожару; ослабляется интенсивность горения; работы выполняются на свежей струе воздуха; уменьшается количество дымовых газов на исходящей струе, чем облегчается потом возведение там перемычек.

Сторонники первоначального возведения перемычек на исходящей струе считают, что исходящие из участка газы направляются обратно в пожарный участок, снижают там концентрацию кислорода, препятствуют образованию взрывчатой смеси газов и способствуют тушению пожаров.

Одновременным возведением и закрытием перемычек на входящей и исходящей струях предполагается поддерживать ток воздуха через пожарный участок и этим самым снизить опасность образования взрывчатой смеси газов до окончательного закрытия перемычек.

При разной последовательности возведения перемычек первыми сооружаются легковозводимые защитные перемычки из мешков, наполненных песком, инертной пылью, глиной или другими сыпучими материалами. Под прикрытием этих перемычек (баррикадных) сооружаются наиболее газонепроницаемые перемычки (кирпичные, бетонные, чураковые или комбинированные).

Анализируя явления, происходящие в результате разной последовательности закрытия перемычек, приходим к следующим выводам.

При начальном сооружении одной перемычки на исходящей струе приток свежего воздуха к очагу пожара не прекращается, а только уменьшается, а дымовые газы распространяются в направлении, противоположном движению воздуха.

При возведении одной перемычки на поступающей струе и при открытом участке со стороны исходящей струи поступление воздуха в пожарный участок резко уменьшается, но не прекращается. Газовый обмен при этом совершается по следующим схемам.

В случае всасывающего проветривания в пожарном участке создается разрежение, а на внешней стороне перемычки — давление. Поэтому в начальный момент после закрытия перемычки пожарные газы из участка удаляются, а в участок поступают горючие и инертные газы из погашенных выработок, трещин и пор угля и породы, а также воздух, проникающий через неплотности перемычки и пород со стороны свежей струи. В этом же случае, но при нагнетательном проветривании, свежий воздух в пожарный участок может поступать через неплотности перемычки, пород и угля.

Наконец, при одновременном закрытии перемычек на поступающей и исходящей струях вначале в пожарном участке создается давление большее, чем на внешних сторонах перемычек, и воздух со стороны большего давления поступает в незначительном объеме через неплотности перемычек, пород и угля. Затем в связи с охлаждением пород, газов, конденсацией водяных паров давление в участке снижается и поступление в участок свежего воздуха, а также горючих и инертных газов из погашенных выработок, пор и трещин угля и пород увеличивается.

На основе этого анализа приходим к заключению, что независимо от последовательности закрытия перемычек поступление воздуха в изолированный участок продолжается и нет никаких оснований предполагать о возможности предупреждения образования взрывчатой газовой смеси (мгновенное снижение содержания кислорода до 12%) при каком-либо порядке закрытия перемычек.

Глава XII

ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ ВЗРЫВЧАТОЙ СМЕСИ ГАЗОВ

§ 1. СПОСОБЫ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ОБРАЗОВАНИЯ ВЗРЫВЧАТОЙ СМЕСИ ГАЗОВ

Образование взрывчатой смеси газов при закрытии перемычек или после него обуславливается наличием в пожарном участке больших количеств пожарных газов, а также газов, выделяющихся в изолированном пространстве из пород и угля; степенью газопроницаемости изолированного участка; величиной перепада давлений на внешних сторонах перемычек.

При подземном пожаре на одной из шахт комбината Кузбасс-уголь всякий раз после одновременного закрытия перемычек или закрытия перемычек сначала на поступающей, а потом на исходящей струе происходили взрывы. Применение баррикадных перемычек взрыва не устранило, но дало возможность под их защитой продолжать работы после взрывов. Всего произошло 32 взрыва.

На шахте одного из трестов Кузбасса во время пожара в квершлагге заполнением водой вентиляционного штрека (минусовый штрек) были созданы условия, аналогичные сооружению перемычки на исходящей струе. Наблюдениями было установлено, что содержание горючих газов непрерывно возрастало вначале в районе вентиляционного штрека, а затем и на основном штреке. После того как образовалась взрывчатая смесь газов, в районе пожара произошел взрыв.

Защитные баррикадные перемычки на поступающей и исходящей струях не устраняют образования взрывчатой газовой смеси, однако, не разрушаясь под действием взрывной волны, они способствуют снижению содержания кислорода в пожарном участке (кислород расходуется на горение, в результате чего образуется инертный газ CO_2) и прекращению образования взрывчатой газовой смеси.

Восстановление полностью или частично разрушенных перемычек обычно сопряжено с гораздо большей опасностью образования взрывчатой смеси газов, чем первоначальное их сооружение. Известны случаи, когда восстанавливать разрушенные перемычки не удалось и приходилось пожарный участок и прилегающие к нему выработки заполнять водой или полностью изолировать все выработки шахты.

Взрывы газов в пожарных участках при недостаточном соблюдении мер предосторожности могут быть причиной человеческих жертв.

Обычно взрывы происходят в следующие периоды изоляции пожарных участков: при закрытии перемычек или проходов в них; по истечении некоторого промежутка времени после полного закрытия всех перемычек и при полном или частичном открытии изоляционных перемычек.

Взрывы газов во время работ по возведению перемычек объясняются тем, что из-за уменьшения сечения выработок (при кладке перемычек) поступление воздуха в участок уменьшилось и в этих условиях образуется взрывчатая смесь газов. Для предупреждения образования взрывчатой смеси газов до закрытия перемычек необходимо, чтобы в пожарный участок поступал воздух в количестве, обеспечивающем разжижение горючих газов до безопасной концентрации.

При изоляции пожарного участка перемычками одновременно снижается концентрация кислорода и увеличивается концентрация горючих газов. Взрывчатая смесь газов образуется в том случае, если концентрация кислорода снижается медленнее, чем увеличивается концентрация горючих газов.

Поэтому предупредить образование взрывчатой смеси газов можно лишь быстрым снижением концентрации кислорода, так как приостановить образование и выделение из угля и пород горючих газов нет возможности. Ускорить процесс снижения концентрации кислорода в изолированном пожарном участке можно на-

гнетанием в него инертных газов. При этом решающее значение имеет скорость подачи инертных газов в пожарный участок.

Газовая обстановка в изолируемом участке может быть следующая: 1) горючие газы выделяются и образуются в количестве, достаточном, чтобы немедленно после закрытия перемычек образовалась взрывчатая смесь газов; 2) выделение и образование горючих газов, а также расходование кислорода происходит медленно и взрывчатая смесь может образоваться в течение продолжительного времени; 3) образование и выделение горючих газов, а также расходование кислорода происходит в таком темпе, что при плотном закрытии участка возникновение взрывчатой смеси исключается, однако по истечении продолжительного времени приток воздуха через возникающие неплотности может возобновиться, что повлечет за собой опасность образования взрывчатой смеси газов.

В первом случае образование взрывчатой смеси газов необходимо предупреждать при оставленных проходах в перемычках на поступающей и исходящей струях. При этом инертные газы необходимо добавлять к воздуху, поступающему в пожарный участок. Инертные газы должны нагнетаться в количестве, необходимым для снижения до взрывобезопасной концентрации кислорода. После этого пожарный участок полностью закрывается перемычками и подачу инертных газов следует продолжать в количестве, необходимом для поддержания достигнутой безопасной концентрации кислорода.

Во втором случае образование взрывчатой газовой смеси необходимо предупреждать при полностью закрытой перемычке на поступающей струе и при оставленном проходе в перемычке на исходящей струе. При этом инертные газы в пожарный участок следует подавать через коллектор на поступающей струе.

Проход в перемычке на исходящей струе можно закрывать после снижения содержания кислорода до взрывобезопасного.

В третьем случае участок необходимо заполнять инертными газами при закрытых перемычках на поступающей и исходящей струях. Эффективность нагнетания инертных газов определяют по результатам анализов газовых проб, взятых из-за перемычки, расположенной на исходящей струе (если инертные газы нагнетаются со стороны свежей струи воздуха).

Для изоляции пожарных участков с нагнетанием в них инертных газов рекомендуется конструкция противопожарной многослойной перемычки (рис. 43). Такая перемычка при достаточной устойчивости и незначительной газопроницаемости имеет двери и проходы, обеспечивающие удобства при закрытии и разведке пожарного участка.

Основная часть перемычки состоит из слоя мешков 1, наполненных песком и поддерживаемых специальным сооружением 2 из двутавровых балок; слоя инертной пыли 3 и внутренней кирпичной кладки 4. В этой части перемычки вмонтирована труба-

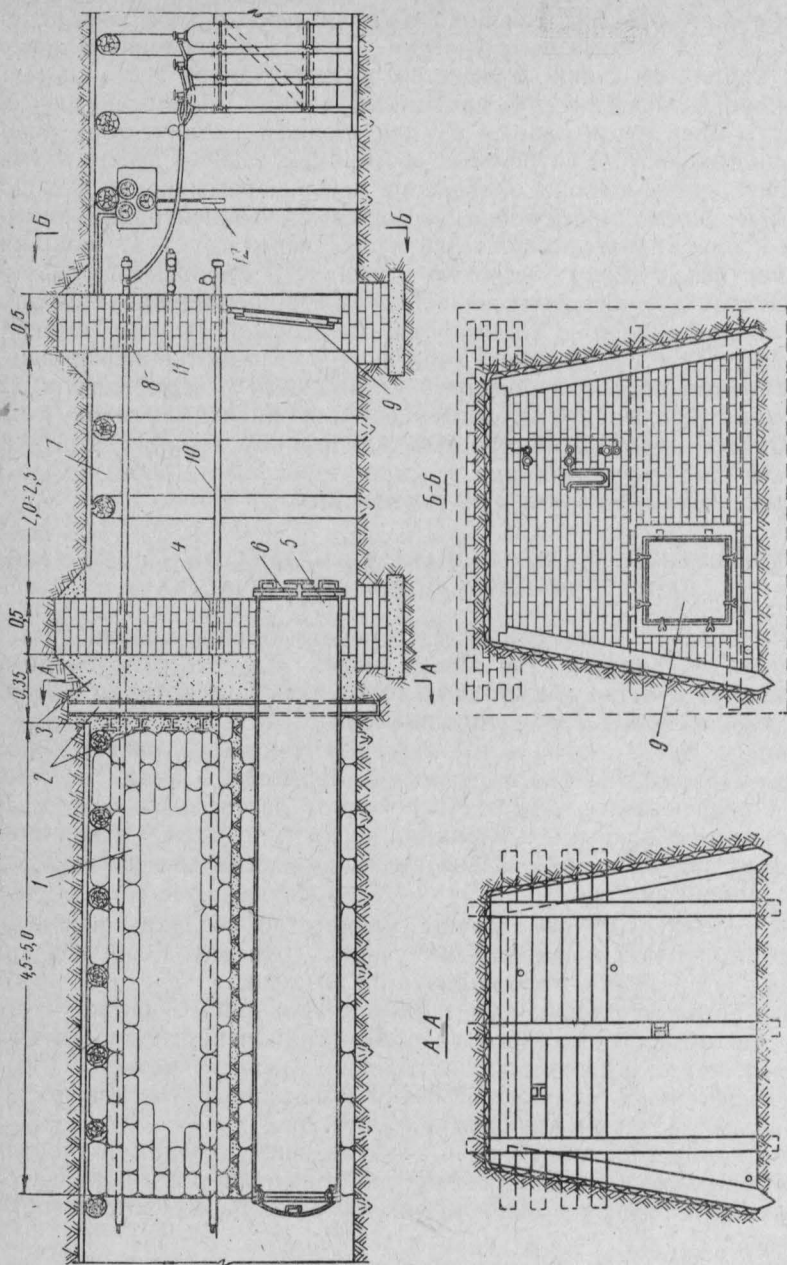


Рис. 43. Тип многослойной противопожарной перегородки

лаз 5 ($d=800$ мм), имеющая на концах стальные крышки 6. Камера 7, контурами которой являются стенки выработки и кирпичные слои 4 и 8, служит для поддержания необходимой концентрации кислорода в пожарном участке. Для проникновения в камеру 7 в кирпичной стенке 8 имеется стальная дверь 9.

Пожарный участок, изолированный такими перемычками, заполняется инертными газами в достаточном количестве через стальные трубы 10. Контроль за состоянием газовой среды в участке ведут путем набора проб газов через перемычки на исходящей струе. После достижения необходимой концентрации кислорода в изолированном участке камера 7 через трубу 11 заполняется инертными газами и затем этими же инертными газами (дополнительным нагнетанием) в этой камере поддерживается давление, равное давлению в выработке (на свежей струе). Температура атмосферы в пожарном участке и в выработке перед перемычкой измеряется при помощи дистанционных термометров 12.

Учитывая термодинамические свойства инертных газов и их транспортабельность, для предупреждения образования взрывчатой смеси газов при изоляции пожаров в горных выработках наиболее целесообразно применять углекислоту.

§ 2. ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ ВЗРЫВЧАТОЙ СМЕСИ ГАЗОВ ПРОВЕТРИВАНИЕМ ПОЖАРНОГО УЧАСТКА

Все работы по изоляции очага горения должны производиться в условиях, безопасных для жизни людей. Для этого необходимо предусмотреть такое проветривание участка, при котором взрывчатая смесь газов не может образоваться.

Условия, при которых в изолируемом участке образуется или не образуется взрывчатая смесь газов, определены аналитическим путем. При решении этой задачи исходили из того, что пожарный участок, подготовляемый к изоляции на поступающей и исходящей струях изолирован перемычками, в которых оставлены проемы для проветривания участка.

Необходимо было определить: количество воздуха, обеспечивающее безопасное проветривание участка, и необходимое сечение проемов для пропуска этого количества воздуха.

Были приняты следующие данные о пожарном участке и его атмосфере: объем пожарного участка, ограниченного перемычками, составляет E , m^3 ; содержание горючих газов в участке C' (объемные доли); через проем перемычки в пожарный участок поступает шахтный воздух в количестве K_2 , $m^3/сек$.

Содержание горючих газов в воздухе, поступающем в участок C_2 (объемные доли), в участке постоянно выделяется и образуется при горении и газификации горючих материалов K_3 , $m^3/сек$ горючих газов.

Через проем в перемычке на исходящей струе из пожарного участка истекают газы в количестве $K_4=K_2+K_3$.

Воздух, поступающий в пожарный участок, перемешивается с атмосферой последнего.

Изменение содержания горючих газов в пожарном участке описывается дифференциальным уравнением

$$(K_2 C_2 + K_3) dT = E dC_1 + (K_2 + K_3) C dT,$$

которое после преобразования принимает следующий вид:

$$dT = \frac{EdC}{K_2 C_2 + K_3 - (K_2 + K_3) C}. \quad (25)$$

Интегрируя уравнение в пределах C' и C'' , получим

$$T = \frac{E}{K_2 + K_3} \ln \frac{K_2 C_2 + K_3 - (K_2 + K_3) C'}{K_2 C_2 + K_3 - (K_2 + K_3) C''}, \quad (26)$$

где T — время, в течение которого содержание горючих газов изменяется от C' до C'' , сек;

C' — исходное содержание горючих газов в участке, объемные доли;

C'' — допустимое содержание горючих газов, объемные доли.

При $C_2 = 0$, т. е. если в пожарный участок воздух поступает без примеси горючих газов, уравнение (26) примет вид:

$$T = \frac{E}{K_2 + K_3} \ln \frac{K_3 - (K_2 + K_3) C'}{K_3 - (K_2 + K_3) C''}. \quad (27)$$

Если в изолированный участок удалось прекратить доступ воздуха, а из участка через неплотности перемычек и пород просачивается K_3 газов, уравнение (26) принимает вид:

$$T = \frac{E}{K_3} \ln \frac{1 - C'}{1 - C''}. \quad (28)$$

При дальнейшем исследовании уравнения (26) приходим к следующим результатам:

при $K_2 > K_3 \frac{1 - C''}{C'' - C_2}$ взрывчатая смесь газов совсем не образуется;

при $K_2 = K_3 \frac{1 - C''}{C'' - C_2}$ взрывчатая смесь газов образуется в течение $T = \infty$;

при $K_2 < K_3 \frac{1 - C''}{C'' - C_2}$ взрывчатая смесь газов образуется в течение T .

Из этого анализа следует, что количество воздуха, необходимое для длительного проветривания пожарного участка, определяется зависимостью

$$K_2' > K_3 \frac{1 - C'}{C'' - C_2}. \quad (29)$$

Минимально допустимое количество воздуха для непродолжительного проветривания участка может быть определено по формуле

$$K_2'' = K_3 \frac{1 - C'}{C'' - C_2} . \quad (30)$$

Для графического определения количества воздуха, необходимого для проветривания пожарного участка, построена номограмма (рис. 44). Так, для исходных данных $K_3 = 35 \text{ м}^3/\text{мин} = 0,58 \text{ м}^3/\text{сек}$; $\Pi_{\text{см}} = 6\%$, $\Pi_{\text{см}} - C_2 = 5,6\%$, $K_2 = 588 \text{ м}^3/\text{мин} = 98 \text{ м}^3/\text{сек}$, путь определения K_2 показан на номограмме буквами А, Б, В, Г.

Если в изолированный участок поступает воздух в количестве $K_2 < K_3 \frac{1 - C''}{C'' - C_2}$, то время T , в течение которого образуется взрывчатая смесь газов, определяется по формуле (26).

Время T , определяемое по уравнению (26), можно определить по номограмме, (рис. 45).

Для построения этой номограммы уравнение (26) преобразовано в уравнение

$$T = \frac{E}{b} \ln \frac{a - bC'}{a - bC''} , \quad (31)$$

где

$$a = K_2 C_2 + K_3; \quad b = K_2 + K_3.$$

Так для исходных данных: $a = 25,3 \text{ м}^3/\text{мин} = 0,42 \text{ м}^3/\text{сек}$; $bC' = 0,65 \text{ м}^3/\text{мин} = 0,01 \text{ м}^3/\text{сек}$; $a - b\Pi_{\text{см}} = 5,8 \text{ м}^3/\text{мин} = 0,09 \text{ м}^3/\text{сек}$, $b = 325 \text{ м}^3/\text{мин} = 5,4 \text{ м}^3/\text{сек}$, $E = 1500 \text{ м}^3$ последовательность определения продолжительности времени T показана на номограмме буквами А, Б, В, Г, Д, Е.

В связи с тем, что все газы, смешивающиеся в пожарном участке имеют различные начальные температуры, необходимо для решения уравнений математическим или графическим путем (при помощи номограмм) привести их количества (K_1 , K_2 и K_3) к стандартной температуре, за которую в шахтной аэрологии принимают 15°С .

Площадь поперечного сечения проема в перемычке, через которую можно пропустить K_2 , м^3 воздуха, необходимого для проветривания пожарного участка, определяется уравнением (В. Б. Комаров и Д. Ф. Борисов, 1938 г.).

$$S_{\text{пр}} = \frac{K_2 S_{\text{в}}}{0,65 K_2 + 0,87 S_{\text{в}} \sqrt{h_{\text{пр}}}} , \text{ м}^2, \quad (32)$$

где $h_{\text{пр}}$ — потеря давления при прохождении воздуха через проем, $\text{н}/\text{м}^2$;

$S_{\text{в}}$ — площадь поперечного сечения выработки, в которой со-
оружены перемычки с проемом, м^2 .

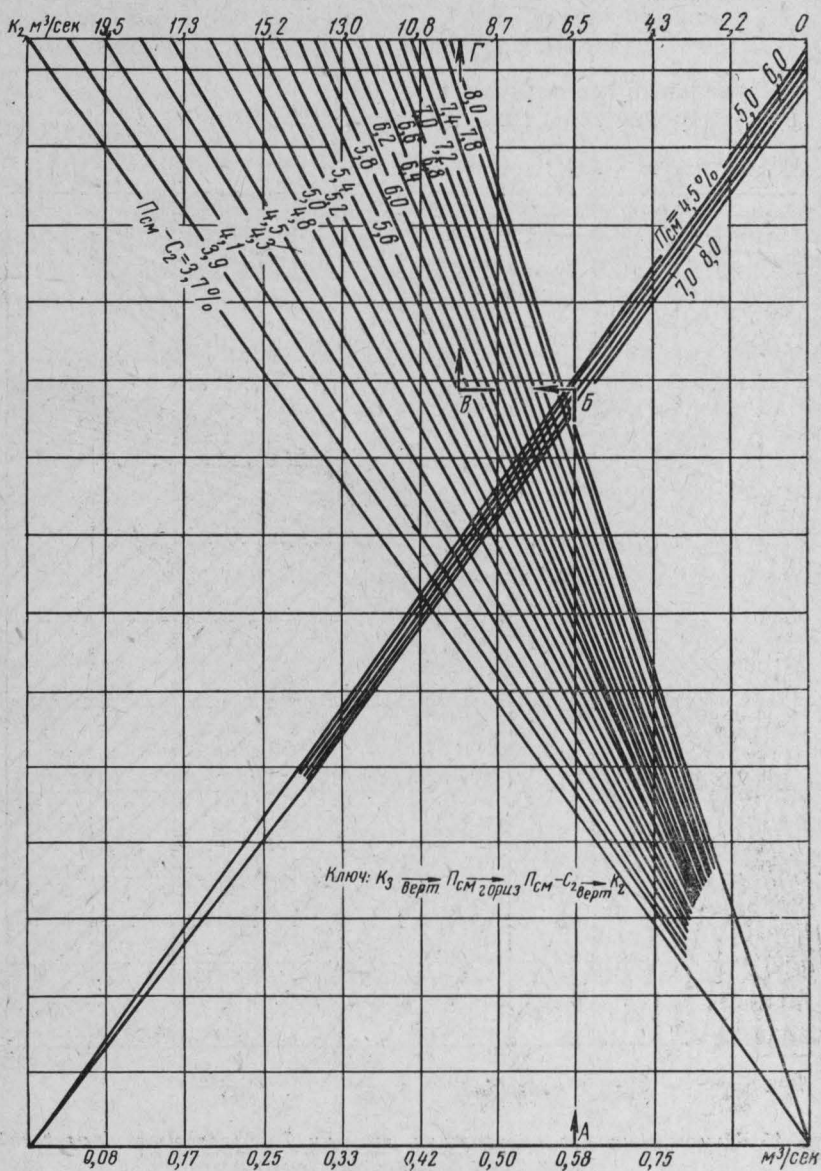


Рис. 44. Номограмма для определения количества воздуха, необходимого для безопасного проветривания пожарного участка

Потеря давления при прохождении K_2 , m^3 воздуха через проем перемычки определяется формулой

$$h_{пр} = \frac{\gamma K_2^2}{2g} \left(\frac{1}{0,655} - \frac{1}{S_{пр}} \right)^2, \quad (33)$$

где γ — удельный вес воздуха, n/m^3 ;
 g — ускорение силы тяжести, $m/сек^2$.

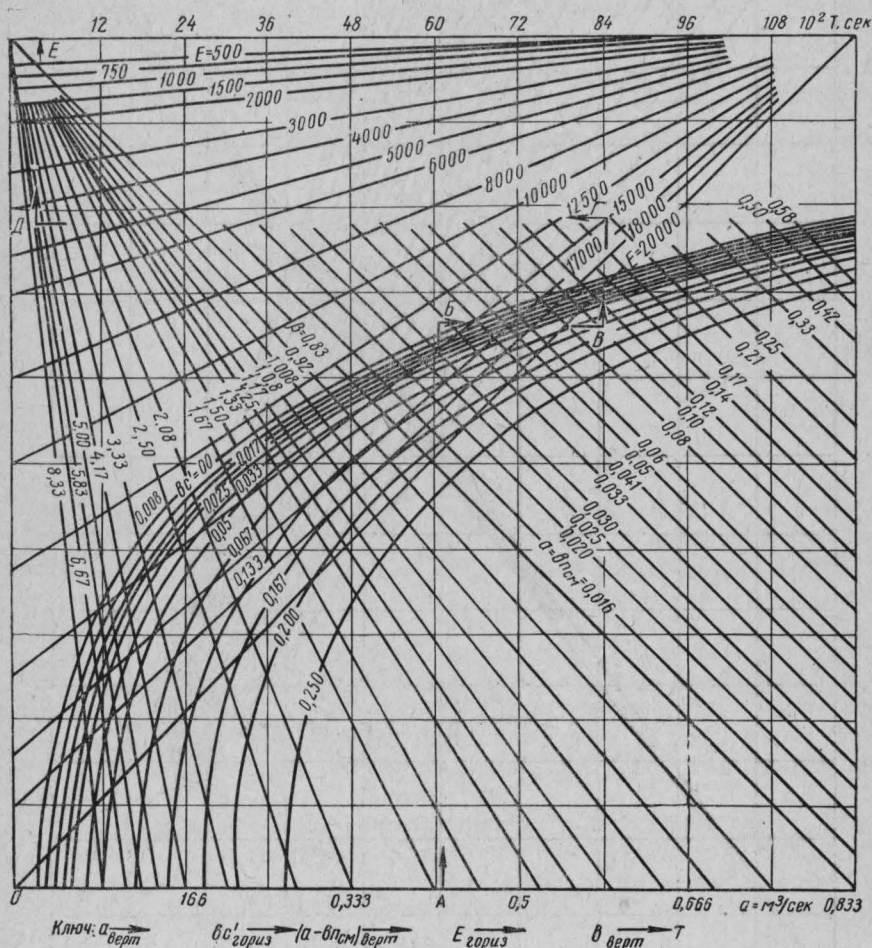


Рис. 45. Номограмма для определения времени T образования взрывчатой смеси газов в пожарном участке

Если площадь сечения проема, определенная по формуле (32), равна или меньше фактической площади сечения $S_{ф}$ проема, то проветривание участка будет достаточным.

Если же $S_{\text{пр}} > S_{\text{ф}}$, то для обеспечения длительного проветривания изолируемого участка необходимо либо увеличить сечение проема в перемычке до величины $S_{\text{пр}}$, либо увеличить напор воздуха перед перемычкой (нагнетать) воздух специальным вентилятором и т. п.).

§ 3. ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ ВЗРЫВЧАТОЙ СМЕСИ ГАЗОВ НАГНЕТАНИЕМ ИНЕРТНЫХ ГАЗОВ В ПОЖАРНЫЙ УЧАСТОК

Чтобы ускорить снижение концентрации кислорода в изолируемом участке, инертные газы можно нагнетать (в зависимости от интенсивности образования и выделения горючих газов) до закрытия проемов в перемычках одновременно с закрытием или после него.

Продолжительность образования взрывчатой смеси газов, определенная по одной из формул (26), (27), (28), позволит установить необходимую последовательность закрытия проемов в перемычках и нагнетания инертных газов в изолированный участок.

Для определения зависимости между нагнетанием инертных газов в пожарный участок и снижением содержания кислорода в нем были приняты следующие исходные данные: объем изолируемого участка E , м^3 ; содержание кислорода в нем в данный период времени C' (объемные доли); в пожарный участок подается K_1 , $\text{м}^3/\text{сек}$ инертных газов; через проходы перемычек и неплотности в участок поступает K_2 , $\text{м}^3/\text{сек}$ воздуха; в изолируемом участке выделяется и образуется K_3 , $\text{м}^3/\text{сек}$ горючих газов; из участка через проходы и неплотности истекает газ в количестве $K_4 = K_1 + K_2 + K_3$.

Содержание кислорода в инертных газах, в шахтном воздухе и в горючих газах соответственно составляет n_1 , n_2 , n_3 (объемные доли).

Кроме этого, принято, что инертные газы и воздух, поступающие в пожарный участок полностью перемешиваются с атмосферой участка и с горючими газами, выделяющимися и образующимися в пожарном участке.

Для изолируемого участка, ограниченного перемычками, в котором открыты проемы или имеются существенные неплотности, изменение содержания кислорода может быть выражено дифференциальным уравнением

$$(K_1 n_1 + K_2 n_2 + K_3 n_3) dT = E dn + (K_1 + K_2 + K_3) n dT,$$

откуда

$$dT = \frac{E dn}{K_1 n_1 + K_2 n_2 + K_3 n_3 - (K_1 + K_2 + K_3) n}. \quad (34)$$

Интегрируя уравнение в пределах n' и n'' , получим

$$T_1 = \frac{E}{K_1 + K_2 + K_3} \ln \frac{(K_1 + K_2 + K_3) n' - (K_1 n_1 + K_2 n_2 + K_3 n_3)}{(K_1 + K_2 + K_3) n'' - (K_1 n_1 + K_2 n_2 + K_3 n_3)}, \quad (35)$$

где n' — начальное содержание кислорода в участке, объемные доли;

n'' — конечное содержание кислорода в участке, объемные доли;

T_1 — время снижения содержания кислорода, сек.

Необходимое количество инертных газов $Q_r, \text{м}^3$ для снижения содержания кислорода до величины n'' определяется из уравнения

$$Q_r = T_1 K_1$$

или

$$Q_r = \frac{K_1 E}{K_1 + K_2 + K_3} \ln \frac{(K_1 + K_2 + K_3) n' - (K_1 n_1 + K_2 n_2 + K_3 n_3)}{(K_1 + K_2 + K_3) n'' - (K_1 n_1 + K_2 n_2 + K_3 n_3)}. \quad (36)$$

Если поступление воздуха в изолированный участок будет практически прекращено ($K_2=0$), что возможно при закрытых проемах в газонепроницаемых перемышках, уравнение (35) принимает следующий вид:

$$T = \frac{E}{K_1 + K_3} \ln \frac{(K_1 + K_3) n' - (K_1 n_1 + K_3 n_3)}{(K_1 + K_3) n'' - (K_1 n_1 + K_3 n_3)}. \quad (37)$$

При $K_2=0$ и $n_1=n_3=0$, уравнение (37) принимает вид:

$$T_1 = \frac{E}{K_1 + K_3} \ln \frac{n'}{n''}. \quad (38)$$

Из уравнения (38)

$$K_1 = \frac{E}{T_1} \ln \frac{n'}{n''} - K_3. \quad (39)$$

При $K=0$ и $K_1=0$ уравнение (38) принимает вид:

$$T_1 = \frac{E}{K_3} \ln \frac{n' - n_3}{n'' - n_3}, \quad (40)$$

которое при $n=0$ принимает вид:

$$T_1 = \frac{E}{K_3} \ln \frac{n'}{n''}. \quad (41)$$

Дальнейшее исследование уравнений (35), (37), (40) приводит к следующим результатам:
если в уравнении (35)

$$K'_1 = K_{\min} = \frac{K_2 (n_2 - n'') + K_3 (n_3 - n'')}{n'' - n_1}, \quad (42)$$

при

$$K'_1 = K_{\min} = K_3 \frac{n_3 - n''}{n'' - n'} \text{ в уравнении (37) и}$$

при

$$n'' = n_3 \text{ в уравнении (40),}$$

снижение содержания кислорода произойдет в течение $T = \infty$;
при

$$K_1 < \frac{K_2(n_2 - n'') + K_3(n_3 - n'')}{n'' - n_1} \text{ в уравнении (35),}$$

при

$$K_1 < K_3 \frac{n_3 - n''}{n'' - n_1} \text{ в уравнении (37) и}$$

при

$$n'' < n_3 \text{ в уравнении (40),}$$

невозможно достигнуть снижения содержания кислорода до значения n'' ;

при

$$K_1 > \frac{K_2(n_2 - n'') + K_3(n_3 - n'')}{n'' - n_1} \text{ в уравнении (35),} \quad (35)$$

при

$$K_1 > K_3 \frac{n_3 - n''}{n'' - n_1} \text{ в уравнении (37),}$$

при

$$n'' > n_3 \text{ в уравнении (40),}$$

содержание кислорода снизится до концентрации n'' в течение времени T_1 , определяемого уравнениями (35), (37) и (40). Таким образом, эти уравнения справедливы для следующих условий нагнетания инертных газов в изолированный участок:

для уравнения (35)

$$K_1 > \frac{K_2(n_2 - n'') + K_3(n_3 - n'')}{n'' - n_1}; \quad (43)$$

для уравнения (37)

$$K_1 > K_3 \frac{n_3 - n''}{n'' - n_1};$$

для уравнения (40)

$$n'' > n_3.$$

Графическое решение этих уравнений показано на номограмме (рис. 46).

Уравнение (35), преобразованное к виду

$$T_1 = \frac{E}{b} \ln \frac{bn' - a}{bn'' - a},$$

где

$$a = K_1 n_1 + K_2 n_2 + K_3 n_3,$$

$$b = K_1 + K_2 + K_3,$$

было использовано в качестве исходного для составления номограммы.

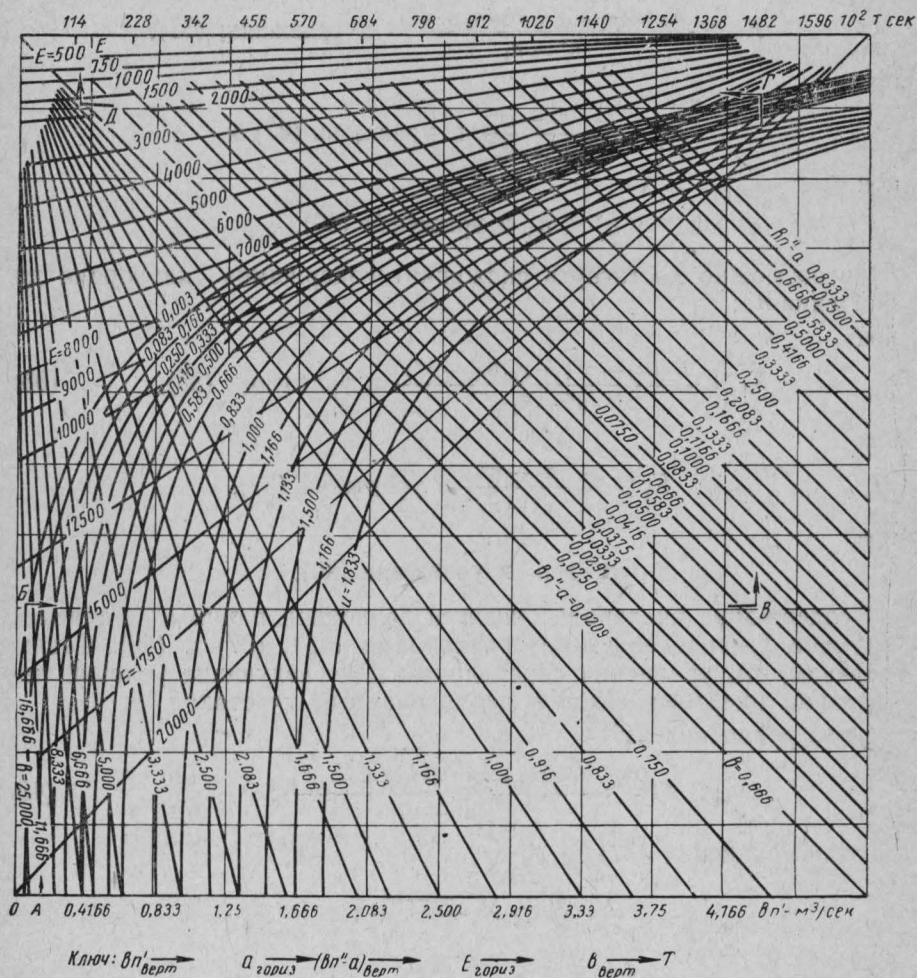


Рис. 46. Номограмма для определения продолжительности T_1 нагнетания инертных газов в пожарный участок

Продолжительность T_1 нагнетания инертных газов в участки для исходных данных $bn^1=1,35 \text{ м}^3/\text{сек}$; $a=0,6 \text{ м}^3/\text{сек}$; $bn''=0,575 \text{ м}^3/\text{сек}$; $E=1200 \text{ м}^3$; $b=0,75 \text{ м}^3/\text{сек}$, определяется на номограмме АБВГДЕ.

Примерное количество инертных газов K_1 , необходимое для

снижения содержания кислорода до безопасной концентрации, может быть определено по номограмме (рис. 47).

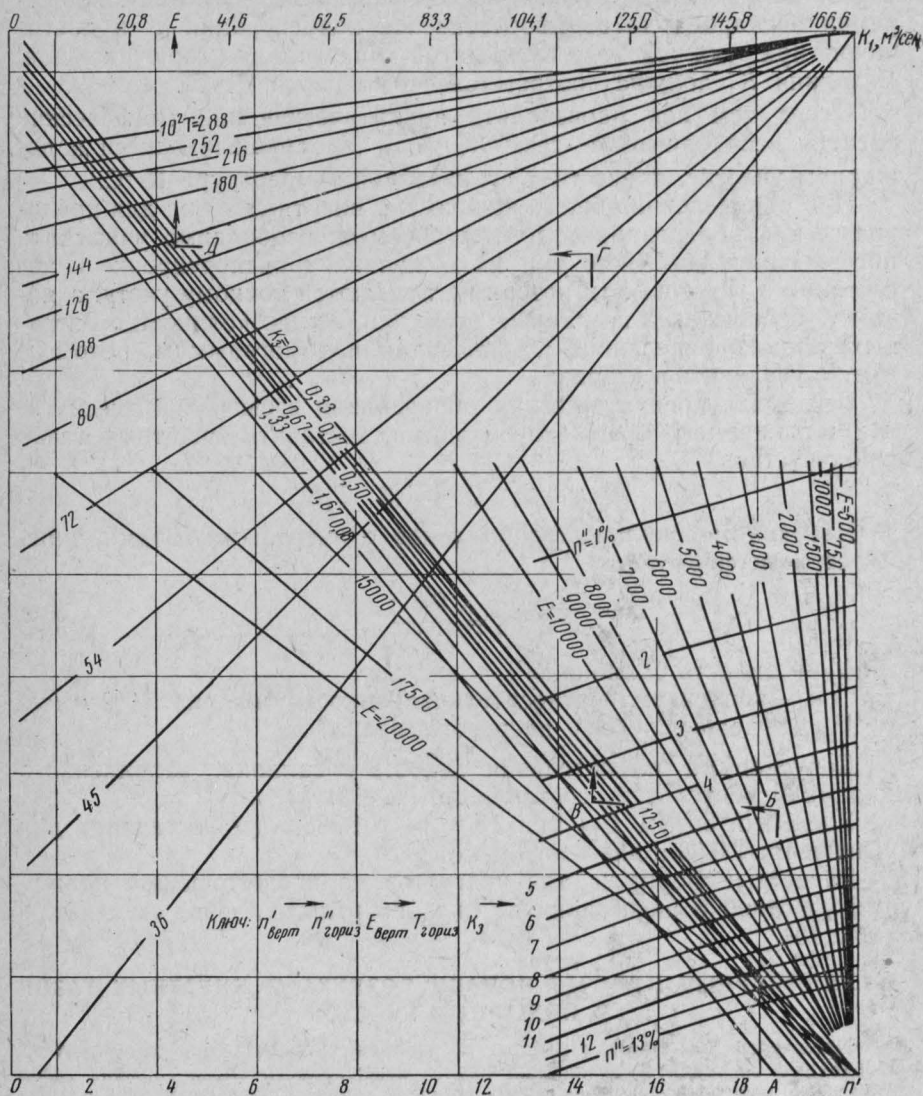


Рис. 47. Номограмма для определения количества инертных газов K_1 в пожарный участок

Так, для исходных данных $n' = 19\%$, $n'' = 5\%$, $E = 1500 \text{ м}^3$, $T_1 = 90 \text{ мин} = 5400 \text{ сек}$, $K_3 = 15 \text{ м}^3/\text{мин} = 0,25 \text{ м}^3/\text{сек}$ последовательность в определении величины K_1 на номограмме обозначена буквами А, Б, В, Г, Д, Е.

Оптимальная скорость подачи K_1° инертных газов в пожарный участок для безопасного снижения концентрации кислорода определяется после подсчетов продолжительности снижения концентрации кислорода до взрывобезопасной концентрации n'' и достижения при этих условиях взрывчатой концентрации горючих газов. Величина K_1° должна соответствовать условию $T > T_1$.

Перед тем как производить аналитические или графические расчеты необходимо все газы K_1° , K_2 и K_3 , смешивающиеся в пожарном участке, привести к стандартной температуре 15°C .

При определении общего количества инертных газов для предупреждения образования взрывчатой смеси необходимо учитывать потери, имеющие место при их хранении, транспортировке и нагнетании в участок. Эти потери не поддаются точному учету, а поэтому, основываясь на данных практики, общее количество инертных газов, определенное по формулам и номограммам, рекомендуется увеличить в 1,2 раза.

Тогда для предупреждения образования взрывчатой смеси газов в пожарном участке необходимо доставить инертных газов в количестве

$$Q'_r = 1,2; \quad Q_r = 1,2 \cdot T_1 K_1^\circ. \quad (44)$$

Необходимое количество баллонов с инертными газами определяется по формуле

$$P_6 = \frac{Q'_r e}{V_6 V_{уд}}, \quad (45)$$

где V_6 — емкость баллона, м^3 ;

e — допускаемая относительная емкость баллона, $10^{-3} \text{ м}^3/\text{кг}$;

$V_{уд}$ — удельный объем инертного газа, $\text{м}^3/\text{кг}$.

Допускаемая относительная емкость e баллона, заполненного жидкой углекислотой, составляет $1,34 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{кг}$.

Удельный объем $U_{уд}$ при 15°C и $101\,325 \text{ н/м}^2$ составляет для углекислоты $0,55$ и для азота $0,85 \text{ м}^3/\text{кг}$.

Расчетные формулы для подсчетов по проветриванию пожарных участков и нагнетания в них инертных газов сведены в табл. 15.

§ 4. ПРИМЕРНЫЙ ПОДСЧЕТ ПОДАЧИ ВОЗДУХА И ИНЕРТНЫХ ГАЗОВ В ПОЖАРНЫЙ УЧАСТОК

Прежде чем приступить к работам по изоляции пожара в горных выработках необходимо определить: 1) нижний предел взрываемости смеси горючих газов пожарного участка; 2) предел взрывоопасной концентрации кислорода и принять его взрывобезопасное содержание n'' для данного участка; 3) количество воздуха K_2' , $\text{м}^3/\text{сек}$, для проветривания участка в зависимости от выделения и образования K_1' , $\text{м}^3/\text{сек}$ горючих газов; 4) время T , в течение которого образуется предельная концентрация C'' горючих газов при поступлении в участок воздуха в количестве $K_2 < K_2'$; 5) площади поперечных сечений $S_{пр}$ проемов в перемычках; через которые можно подавать в участок K_2 , $\text{м}^3/\text{сек}$ воздуха; 6) количество инертных газов K_1 , $\text{м}^3/\text{сек}$, для снижения кислорода до концентрации n'' ; 7) вре-

Определяемая величина	Расчетные формулы	Номер фор- мулы
Предел взрываемости группы горючих газов, %	$P_{\text{см}} = \frac{C}{\frac{C_1}{P_1} + \frac{C_2}{P_2} + \frac{C_3}{P_3} + \dots + \frac{C_n}{P_n}}$	(1)
Предел взрывоопасного содержания кислорода в смеси, %	$B = \frac{C_1 \delta_1 + C_2 \delta_2 + \dots + C_n \delta_n}{C}$	(2)
Необходимое количество воздуха для проветривания пожарного участка	$K'_2 > K_3 \frac{1 - C''}{C'' - C_2}$	(29)
Длительность образования взрывчатой смеси газов при $K_2 < K'_2$, сек	$T = \frac{E}{K_2 + K_3} \ln \frac{K_2 C_2 + K_3 - (K_2 + K_3) C'}{K_2 C_2 + K_3 - (K_2 + K_3) C''}$	(26)
Продолжительность образования взрывчатой смеси газов при $K_2 = 0$, сек	$T = \frac{E}{K_3} \ln \frac{1 - C'}{1 - C''}$	(28)
Скорость подачи инертных газов в пожарный участок для снижения концентрации кислорода до n'' , $\text{м}^3/\text{сек}$	$K_1 > \frac{K_2 (n_2 - n'') + K_3 (n_3 - n'')}{n'' - n_1}$	(43)
Продолжительность нагнетания инертных газов в количестве K_1 , сек	$T_1 = \frac{E}{K_1 + K_2 + K_3} \ln \times$ $\times \frac{(K_1 + K_2 + K_3) n' - (K_1 n_1 + K_2 n_2 + K_3 n_3)}{(K_1 + K_2 + K_3) n'' - (K_1 n_1 + K_2 n_2 + K_3 n_3)}$	(35)

Определяемая величина	Расчетные формулы	[Номер фор- мулы]
Длительность снижения концентрации кислорода до n'' в уча- стке при $K_2 = 0$ и $K_1 = 0$, сек	$T_1 = \frac{E}{K_3} \ln \frac{n' - n_3}{n'' - n_3}$	(40)
Скорость подачи инертных газов для осуществления сниже- ния концентрации кислорода до n'' при $K_2 = 0$ и $n_1 =$ $= n_3 = 0$ в течение времени T_1 , $\text{м}^3/\text{сек}$	$K_1 = \frac{E}{T_1} \ln \frac{n'}{n''} - K_3$	(39)
Расход инертных газов за время их нагнетания с учетом возможных потерь, м^3	$Q_r' = 1,2 Q_r = 1,2 T_1 K_1$	(44)
Площадь поперечного сечения проемов в притвонпожарных перегородках при проветривании участка, м^2	$S_{\text{пр}} = \frac{K_2 S_B}{0,65 K_2 + 0,87 S_B \sqrt{h_{\text{пр}}}}$	(32)
Скорость подачи инертных газов для поддержания concentra- ции кислорода в участке на уровне n'' , $\text{м}^3/\text{сек}$	при	
		$h_{\text{пр}} = \frac{\gamma K_2^2}{2g} \left(\frac{1}{0,655} - \frac{1}{S_{\text{пр}}} \right)$
		$K_1' = \frac{K_2 (n_2 - n'') + K_3 (n_3 - n'')}{n'' - n_1}$

(42)

ма T_1 , сек, снижения кислорода в изолируемом участке от начального содержания n' до n'' , при подаче в него K_1 , $\text{м}^3/\text{сек}$ инертных газов; 8) время T , сек, образования взрывчатого содержания горючих газов при нагнетании в участок K_1 , $\text{м}^3/\text{сек}$ инертных газов; 9) количество инертных газов K_1 , $\text{м}^3/\text{сек}$, для поддержания в участке взрывобезопасной концентрации кислорода; 10) общее количество инертных газов для снижения и поддержания взрывобезопасной концентрации кислорода в участке, м^3 .

Принимаем следующие исходные данные для расчета: 1) объем пожарного участка $E = 2000 \text{ м}^3$; 2) в участке выделяется и образуется $K_3 = 0,05 \text{ м}^3/\text{сек}$ горючих газов; 3) в состав горючих газов в участке входят $\text{CH}_4 = 0,8\%$, $\text{H}_2 = 0,2\%$ и $\text{CO} = 0,2\%$; 4) начальное содержание кислорода в атмосфере участка $n' = 18\%$; 5) содержание кислорода в воздухе, поступающем в участок, $n_2 = 20\%$; 6) содержание горючих газов в воздухе, поступающем в участок, $C_2 = 0$; 7) содержание кислорода в инертных газах $n_1 = 1\%$; 8) содержание кислорода в горючих газах, выделяющихся в участке, $n_3 = 0$; 9) газовая проницаемость изолируемого участка при закрытых проемах в перемычках составляет $0,166 \text{ м}^3/\text{сек}$; 10) сечение проемов в перемычках принимаем $S_\phi = 0,49 \text{ м}^2$ ($0,7 \times 0,7$).

Для расчета принимаем следующие допущения: через неплотности перемычки и пород часть атмосферы участка истекает в количестве, равном сумме газовых поступлений в участок ($K_1 + K_2 + K_3$); в участке все газы перемешиваются; инертные газы нагнетаются при закрытых перемычках со стороны поступающей в участок струи воздуха и при открытом проеме на исходящей струе из участка.

Расчет. 1. Нижний предел взрываемости смеси горючих газов ($\text{CH}_4 - 0,8\%$, $\text{H}_2 - 0,2\%$, $\text{CO} - 0,2\%$) с воздухом определяем по формуле (1): $\Pi_{\text{см}} = 5,38\%$

В дальнейшем для расчета принимаем $C'' = 5\%$.

2. Предел взрывоопасной концентрации кислорода для этой смеси горючих газов определяем по формуле (2):

$$B = 10,83\%.$$

Взрывоопасное содержание кислорода в участке принимаем $n'' = 10\%$.

3. Количество воздуха для проветривания пожарного участка определяем по формуле (29) и графически (см. рис. 45):

$$K'_2 > 0,95 \text{ м}^3/\text{сек}.$$

Безопасное проветривание участка принимаем достаточным при $K'_2 = 1 \text{ м}^3/\text{сек}$.

4. Площадь поперечного сечения проемов в перемычках $S = 8 \text{ м}^2$.

$$h_{\text{пр}} = 1,176 \text{ м/м}^2, \quad s \geq 1 \text{ м}^2.$$

5. Взрывчатое содержание горючих газов при закрытых проемах в перемычках и поступлении в участок воздуха $0,166 \text{ м}^3/\text{сек}$ (образуется за время T , которое определяется по формуле (27) и графически (см. рис. 46).

$$T = 1841,6 \text{ сек}.$$

6. Время снижения концентрации кислорода до $n'' = 10\%$ при $K_2 = 0,166 \text{ м}^3/\text{сек}$ и $K_1 = 0$ определяется по формуле (35). Однако снижения концентрации кислорода до n'' в этих условиях не произойдет в связи с тем, что $K_1 < 0,166 \text{ м}^3/\text{сек}$.

7. В связи с тем, что взрывчатая концентрация горючих газов в участке образуется в течение $1841,6 \text{ сек}$, а содержание кислорода останется взрывоопасным, то для предупреждения образования взрывчатой смеси газов необходимо довести до взрывобезопасного состояния концентрацию кислорода нагнетанием в участок инертных газов. Инертные газы следует нагнетать одновременно с закрытием проемов в перемычках.

Для снижения содержания кислорода до $n'' = 10\%$ в участок необходимо подать $K_1 > 0,129 \text{ м}^3/\text{сек}$ инертных газов (см. уравнение 43 и рис. 48), т. е. необходимо нагнетать $K_1 > 0,129 \text{ сек}$ инертных газов.

Учитывая, что инертные газы следует начать подавать при незакрытых пере-
мычках и в количестве, обеспечивающем быстрое снижение содержания кисло-
рода, принимаем $K_1=0,3 \text{ м}^3/\text{сек}$.

8. Время T_1 , в течение которого будет снижено содержание кислорода до $n'' = 10\%$ при $K_2 = 0,166 \text{ м}^3/\text{сек}$ и $K_1 = 0,3 \text{ м}^3/\text{сек}$, определяем по формуле (35) и номограмме (см. рис. 47):

$$T_1 = 4440 \text{ сек.}$$

9. Время T , в течение которого образуется взрывчатое содержание горючих газов при $K_2=0,166 \text{ м}^3/\text{сек}$, $K_3=0,05 \text{ м}^3/\text{сек}$, $K_1=0,3 \text{ м}^3/\text{сек}$ и $C_2=0$, опреде-
ляем по формуле (26):

$$T = 2376 \text{ сек.}$$

Следовательно, взрывчатая смесь газов образуется раньше (2376 сек), чем
содержание кислорода снизится до $n'' = 10\%$ (4440 сек). Поэтому величину
 K_1 следует увеличить до $0,58 \text{ м}^3/\text{сек}$.

10. Концентрация кислорода снизится до $n'' = 10\%$ при подаче в участок
 $K_1 = 0,58 \text{ м}^3/\text{сек}$ инертных газов за время $T_1 = 2340 \text{ сек}$.

11. Время, в течение которого образуется взрывчатая концентрация горючих
газов при $K_1 = 0,58 \text{ м}^3/\text{сек}$, $K_2 = 0,16 \text{ м}^3/\text{сек}$, $K_3 = 0,05 \text{ м}^3/\text{сек}$ и $C_2 = 0$,
 $T = 3498 \text{ сек}$.

Следовательно, при $K_1^0 = 0,58 \text{ м}^3/\text{сек}$ можно предупредить образование
взрывчатой смеси газов.

12. Количество инертных газов для поддержания концентрации кислорода
 $n'' = 10\%$ определяем по формуле (42):

$$K_1' = 0,13 \text{ м}^3/\text{сек.}$$

Таким образом, чтобы снизить содержание кислорода до взрывобезопасной
концентрации $n'' = 10\%$, необходимо нагнетать $0,57 \text{ м}^3/\text{сек}$ инертных газов в те-
чение $T_1 = 2400 \text{ сек}$. Затем необходимо концентрацию кислорода $n'' = 10\%$ под-
держивать в течение $T_1' = 3600 \text{ сек}$.

Общий расход инертных газов для предупреждения образования взрывчатой
смеси газов определяем по уравнению (44):

$$Q_r' = 1,2 (T_1 K_1^0 + T_1' K_1') = 2240 \text{ м}^3.$$

Если в качестве инертного газа будет применена углекислота, то количество
баллонов Б-40, наполненных жидкой углекислотой, определится из уравне-
ния (45):

$$P_6 = \frac{2240 \cdot 1,34}{40 \cdot 0,55} = 137 \text{ баллонов.}$$

§ 5. ПРИМЕНЕНИЕ УГЛЕКИСЛОТЫ ДЛЯ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ВЗРЫВОВ ГАЗА В ПОЖАРНЫХ УЧАСТКАХ

На угольных месторождениях СССР известно несколько слу-
чаев предупреждения образования взрывчатой смеси газов в под-
земных пожарных участках нагнетанием в них углекислоты.
Краткое описание некоторых из этих работ, проведенных под ру-
ководством горных инженеров Г. Г. Соболева, М. И. Чеканина
помещаем ниже.

Пласт l_2 (Первый), трест Советскуголь. На восточном участке
пласта l_2 на гор. 610 м возник пожар от самовозгорания угля.

Уголь пласта самовозгорающийся, а по газовыделению отнесен к третьей категории.

Методом непосредственного воздействия на очаг горения пожара не удалось ликвидировать пожар, так как вскоре после ликвидации одного очага горения возникал новый. Горение продолжало распространяться вверх и вниз.

Пожарный участок был изолирован — одновременно закрыты перемычки в откаточном (гор. 610 м) и вентиляционном (гор. 510 м) штреках. В связи с тем, что восточный и западный участки пласта были соединены между собой через выработанное пространство, возникла необходимость в изоляции обоих участков. Объем изолированного пространства составил около 10 000 м³.

Химическим анализом газовых проб, набираемых из изолированного участка, выявлено, что содержание метана быстрее приближается к взрывоопасной концентрации (5%), чем содержание кислорода к взрывобезопасной (12%). Поэтому, когда концентрация кислорода достигла 15,85%, а метана 4,5%, в пожарный участок начали нагнетать углекислоту со стороны свежей струи через стальные трубы, проложенные в перемычках.

В изолированный участок было подано 1125 м³ (75 баллонов) углекислоты, что составляет около 0,116 м³/сек.

После выпуска углекислоты содержание кислорода снизилось до 10%, а метана возросло до 7,5%. Такое содержание кислорода в участке поддерживалось в течение месяца.

Пласт l'_1 (Нольный), трест Советскуголь. Случай самовозгорания угля на участке пласта l'_1 произошел на горизонте 610 м в выработанном пространстве. Уголь пласта l'_1 опасный по газу и пыли (выделение метана на 1 т суточной добычи около 28 м³). На 60 м ниже пласта l_1 залегает пласт k_8 Каменка, на 42 м выше пласта l'_1 залегает пласт l_2 Первый, а еще выше (17 м) — пласт l_3 Алмазный. С пласта l_3 все указанные пласты через каждые 120—150 м вскрываются промежуточными квершлагами, от которых производится выемка угля одновременно как с западной, так и с восточной стороны.

Пласт k_8 был вскрыт квершлагом и дальнейшие работы ввиду появления суфлярного выделения метана на нем были прекращены.

Было выявлено, что очаг пожара находится в глубине выработанного пространства. Это полностью исключало применение способов непосредственного воздействия на очаг пожара. Возникла необходимость изолировать участок перемычками. Из прежнего опыта изоляции пожаров на участках этого пласта было известно несколько случаев взрывов газов после закрытия перемычек. Наличие суфлярного выделения метана в забое промежуточного квершлага k_8 усугубляло опасность образования взрывчатой смеси газов в участке. Поэтому было решено в изолированный участок нагнетать инертные газы.

Объем изолированного участка около 4800 м^3 . Перемычки закрывались в следующем порядке. На гор. 610 м (рис. 48) одновременно сооружались кирпичная перемычка 1 с проемом, чураковая 2 для временного уменьшения поступления метана, выделяемого в забое квершлага, и щитовая перемычка 3 на западном штреке пласта l_1' для того, чтобы направить основной поток углекислоты к очагу пожара. Перемычки А, Б, В, Г были установлены ранее.

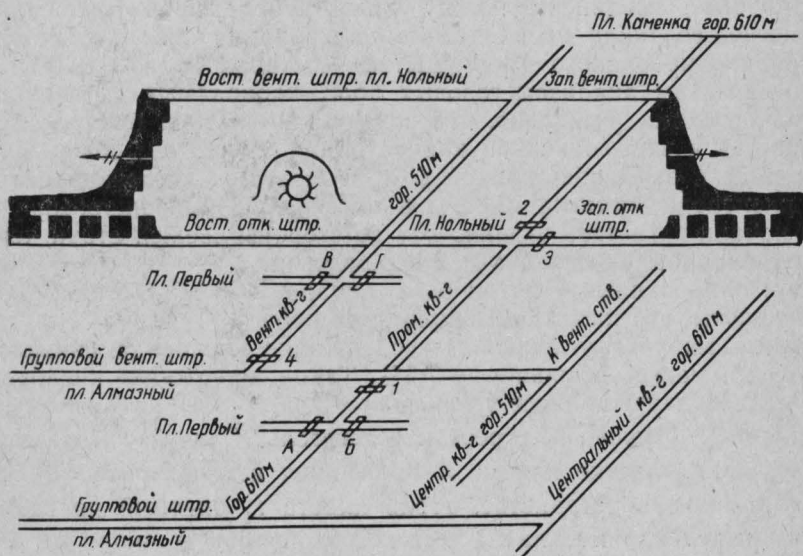


Рис. 48. Схема изоляции пожарного участка пласта Нольного и подготовительного забоя пласта Каменка

После сооружения перемычек 2 и 3 был осланцован промежуточный квершлаг от перемычки 1 до перемычек 2 и 3 и восточный штрек от квершлага до района очага пожара. После выполнения всех этих работ проем в перемычке 1 был заложен и в пожарный участок через трубный коллектор, вмонтированный в перемычку, начали подавать углекислоту. Было подано 910 м^3 углекислоты (60 баллонов), что составило около $0,133 \text{ м}^3/\text{сек}$. Вскоре после начала выпуска углекислоты опасность образования взрывчатой смеси миновала.

Ко времени окончания нагнетания углекислоты газовая смесь в пожарном участке за перемычкой 1 составляла: 53% CO_2 , 4,85% O_2 , 26% CH_4 и 0,3% CO . Температура смеси газов, исходящих из пожарного участка, снизилась с 45 до 25°C .

Вскоре после прекращения подачи углекислоты в участок была сооружена и полностью закрыта чураковая перемычка 4.

По данным химического анализа проб газов, набранных из-за перемычки 4, было установлено, что по истечении 10 суток после окончания выпуска углекислоты горение полностью прекратилось.

Пласт l_4 (Никанор), шахта «Центральная Ирмино», трест Кадиевуголь. Шахта отнесена к сверхкатегорным.

Очаг пожара был обнаружен в выработанном пространстве на расстоянии 300 м от уступов. При этом было установлено, что при сокращении количества воздуха, поступающего в этот участок, концентрация метана в районе уступов и перед забоем штрека весьма быстро достигала 5—6%. Непосредственным воздействием пожар ликвидировать не смогли, а поэтому было решено пожарный участок изолировать перемычками.

В связи с опасностью образования взрывчатой смеси газов во время закрытия перемычек изоляция пожарного участка и нагнетание в него инертных газов было проведено в следующей последовательности:

1. За местом, подготовляемым для сооружения перемычек на поступающей струе, осланцевали стены выработки и уложили в горизонтальном положении 10 стальных баллонов, заполненных углекислым газом.

2. Подготовили врубы и материалы для сооружения перемычек на поступающей и исходящей струях.

3. Вскоре после начала сооружения перемычек (перемычки сооружались одновременно на поступающей и исходящей струях) вентили всех баллонов за сооружаемой перемычкой были открыты.

4. Как только перемычка на поступающей струе была полностью возведена (перемычка на исходящей струе возведена была примерно на половину высоты выработки), приступили к нагнетанию углекислоты через трубу, оставленную в перемычке.

5. После того как содержание кислорода на исходящей из участка струе было снижено до 9%, приступили к закрытию перемычки на исходящей струе (подача углекислоты со стороны поступающей струи продолжалась).

6. Нагнетание углекислоты продолжалось и после полного закрытия участка перемычками.

Всего было подано в пожарный участок свыше 1500 м³ (около 100 баллонов) углекислоты при средней скорости ее подачи до закрытия перемычек около 0,166 м³/сек. В результате проведенных всех этих мероприятий пожар был ликвидирован.

На одной из шахт Рурской области возник пожар в выработанном пространстве вблизи вентиляционного штрека. При попытках уменьшить подачу воздуха в участок происходили вспышки газов.

Пожарный участок был изолирован перемычками только после того, как в нем нагнетанием 6000 м³ инертных газов (5000 м³ углекислоты и 1000 м³ азота) было снижено содержание кислорода до взрывобезопасного.

ДИСТАНЦИОННОЕ ТУШЕНИЕ ПОЖАРОВ В ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ

В отличие от непосредственного воздействия на очаг горения, когда струей воды (цельной и разрушенной), пены и различных порошковых материалов тушат огонь в пределах эффективной длины компактной части струи. При дистанционном воздействии на огонь средства тушения должны быть распределены по всему сечению выработки так, чтобы можно было тушить горение одновременно по всему сечению выработки. Предельное расстояние, на котором сохраняется эффективное действие средств по всему сечению выработки, определяет максимальную дальность дистанционного тушения.

Для дистанционного тушения пожаров могут применяться: вода и ее растворы ингибиторов, воздушно-механическая пена высокой кратности и инертные газы.

§ 1. ДИСТАНЦИОННОЕ ТУШЕНИЕ ВОДОЙ И ЕЕ РАСТВОРАМИ

Для успешного тушения необходимо, чтобы такое заполнение сечения выработок огнегасительными средствами было не только в зоне горения, но и на некотором расстоянии за ней.

Дистанционное тушение пожаров, возникших в горных выработках, может быть осуществлено заполнением сечения выработок дисперсной (распыленной) водой или затоплением этих выработок водой.

Мелкодисперсные (туманообразные) и более крупные (брызги, капли) частицы воды совершают движение в выработке вначале под действием напора в насадке, а затем под влиянием вентиляционной струи.

Дисперсная вода может применяться для тушения пожаров в горизонтальных, вертикальных и наклонных выработках, а также в пространстве за обрушенной породой или куполах над крепью.

Для тушения пожара распыленной водой ее концентрация (водность) перед очагом горения должна составлять около $0,015—0,02 \text{ кг/м}^3$.

Начальная водность (у выходного отверстия форсунки) зависит от удаления распыляющего устройства от очага горения, дисперсности распыленной жидкости и скорости движения вентиляционного потока, который переносит распыленную жидкость к очагу горения.

При начальной средней дисперсности частиц воды 100 мкм и давления воды перед форсунками около $19,6133 \cdot 10^5 \text{ н/м}^2$ начальная водность должна составлять около $0,15—0,2 \text{ кг/м}^3$ воздуха, проходящего по выработке. При этом эффективная водность вентиляционного потока ($0,02 \text{ кг/м}^3$) будет сохранена на расстоянии $25—30 \text{ м}$ от распыляющих устройств.

Для устройства водяной завесы, способной охладить пожарные газы по всему сечению при скоростях их движения от 2 до 6 м/сек, требуется расход воды для разбрызгивания по сечению выработки от $0,4 \cdot 10^{-3}$ до $0,8 \cdot 10^{-3}$ м³/сек на каждый 1 м² сечения выработки.

Для тушения пожаров в вертикальных и наклонных выработках дисперсной водой целесообразно разбрызгивать ее водоразбрызгивателями МВР-3. В вертикальных выработках МВР-3 ук-



Рис. 49. Схема подачи раствора ингибитора для тушения эндогенного пожара в трещине целика угля

репляется на подъемном канате (см. рис. 41). При разбрызгивании воды в вертикальную выработку в количестве $0,00083$ м³/сек на 1 м² сечения выработки гасящая концентрация воды по всему сечению выработки распространяется ниже от МВР-3 на глубину около 150 м.

Для тушения пожара в наклонных выработках при условии, что в выработке нет обрушений перед очагом горения и путь для движения вагончиков свободен, МВР-3 укрепляется в передней лобовине вагончика (см. рис. 40). Горение в этом случае тушится приближением водяных факелов вместе с вагончиком к очагу горения.

В горизонтальных выработках для разбрызгивания воды применяют водоструйные пики, которые представляют собой набор перфорированных труб.

Пожар эндогенного происхождения в разрушенном массиве угля целесообразно тушить нагнетанием в этот массив через скважины водного раствора гашеной извести $\text{Ca}(\text{OH})_2$, бикарбоната кальция $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ или какого-либо другого ингибитора. Схема нагнетания раствора в раздавленный целик угля для тушения горения в нем показана на рис. 49.

Для тушения очага горения 1, возникшего в трещине 2 раздавленного целика угля, рекомендуется пробурить несколько шпуров 3 в пласте угля с таким расчетом, чтобы они пересекли трещину или несколько трещин. Затем в эти скважины одновремен-

но или последовательно нагнетается раствор ингибиторов (антипиренов).

Для этого скважина соединяется при помощи герметизатора 4 с нагнетательным трубопроводом насоса 5. При достаточном уплотнении устья скважины герметизатором можно подавать раствор в скважины под давлением около $14,71 \cdot 10^5$ н/м², который поступает в насос из вагончика 6.

Нагнетание воды в такие скважины не рекомендуется ввиду возможности повторения эндогенного пожара в таком целике.

Преимущества нагнетания раствора ингибитора в скважины для тушения пожаров в разрушенном целике угля перед способом разборки этого целика или пересечения его выработками (печами) заключаются в следующем.

Разборкой горящей части массива угля, а также пересечением его выработками уменьшается прочность предохранительного целика и значительно увеличивается поверхность его обнажения, что способствует увеличению интенсивности процесса окисления.

При покрытии растворами поверхностей угля (А. И. Хрисанфова, А. К. Шубников и другие, 1959 г.) окислительные процессы замедляются. Происходит это вследствие химического взаимодействия ингибиторов с некоторыми кислородсодержащими группами, образовавшимися в процессе окисления. Кроме того, легкая окисляемость ингибиторов позволяет отнимать на свое окисление значительную часть энергии, выделяющейся в первичных реакциях, прекращая окислительные процессы, начавшиеся в угольном веществе. Под воздействием избирательной адсорбции ингибитора на активных участках поверхности угля они становятся малодоступными для химического воздействия кислорода. При нагнетании ингибиторов теплопроводность массы угля увеличивается, что препятствует накоплению тепла в одном месте, а значит и возникновению очагов самонагрева.

Действие ингибиторов будет наиболее значительным, если все эти процессы будут происходить одновременно. Ингибиторы этой группы называются химическими.

Группа механических ингибиторов оказывает замедляющее действие на окислительные процессы главным образом тем, что они способны образовать на поверхности ископаемых углей пленки, которые прекращают или затрудняют взаимодействие углей с кислородом.

Затопление водой отдельной выработки, участка, горизонта или всех выработок шахты с целью тушения в них пожара является крайней мерой, граничащей с безвозвратной потерей этих объектов.

Затопление выработок водой может оказаться эффективным при соответствующей конфигурации выработки или группы выработок, позволяющей заполнить их водой в короткий срок при сооружении сравнительно небольшого количества перемычек или совсем без них.

Прежде чем приступить к затоплению, необходимо определить высоту, на которую потребуются поднять уровень воды, места возведения и конструкции водоупорных перемычек, объем пространства, подлежащего затоплению, и источники водоснабжения (с учетом естественного притока воды). Из затопляемой зоны следует предварительно удалить оборудование и в выработках усилить крепь.

После откачки воды потушенные эндогенные пожары могут возобновиться в течение непродолжительного периода времени. Поэтому при заполнении выработок для предупреждения рецидива пожара следует в воду добавлять ингибиторы или немедленно после откачки воды проводить профилактические мероприятия по предупреждению самовозгорания угля.

Один из наиболее успешных случаев ликвидации пожара затоплением выработок водой описываем ниже.

В шахте им. Ленина треста Кизелуголь в скате № 1 возник пожар от короткого замыкания гибкого кабеля, питающего электрическим током вентилятор местного проветривания подготовительного забоя.

Попытки ликвидировать пожар непосредственным воздействием на горение оказались безуспешными вследствие интенсивного развития горения. Огонь проник в печь № 2 и в выработанное пространство лавы 108, где создавалась угроза дальнейшего его распространения. В связи с этим пожарный участок был изолирован водоупорными перемычками и затоплен водой.

§ 2. ДИСТАНЦИОННОЕ ТУШЕНИЕ ПОЖАРОВ ВОЗДУШНО-МЕХАНИЧЕСКОЙ ПЕНОЙ ВЫСОКОЙ КРАТНОСТИ

Для заполнения выработок по всему сечению пеной наиболее целесообразно применять воздушно-механическую пену, кратность которой составляет 800—1000. Воздушно-механическая пена, имеющая кратность около 1000, хорошо перемещается вентиляционным потоком, скорость которого выше 2 м/сек. Получение такой пены заключается в набрызгивании мелкораспыленного раствора пенообразователя на текстильную или металлическую сетку, перекрывающую все сечение выработки.

Проведенными экспериментами (В. М. Сухаревский, В. Л. Злотин, А. А. Гродский) в горных выработках шахты № 1—2 «Смолянка» треста Куйбышевуголь (Донбасс) установлено, что пена в выработках, закрепленных деревом, хорошо перемещалась вентиляционным потоком, скорость которого составляла около 4,8 м/сек. Поток пены (рис. 50), преодолевая повороты (90°), проникал через вентиляционное окно (площадь сечения около 1,5 м²), снова заполнял все сечение наклонной вентиляционной сбойки (угол наклона составлял 12—17°) и перемещался по ней, затем, снова преодолевая прямой угол поворота на вентиляционный штрек, перемещался по штреку до шурфа и действием вентиляционного потока увлекался в него.

При этом заслуживают особого внимания следующие факты. При движении пены по вентиляционной сбойке в местах, где над крепью куполообразное пространство было редко заложено де-

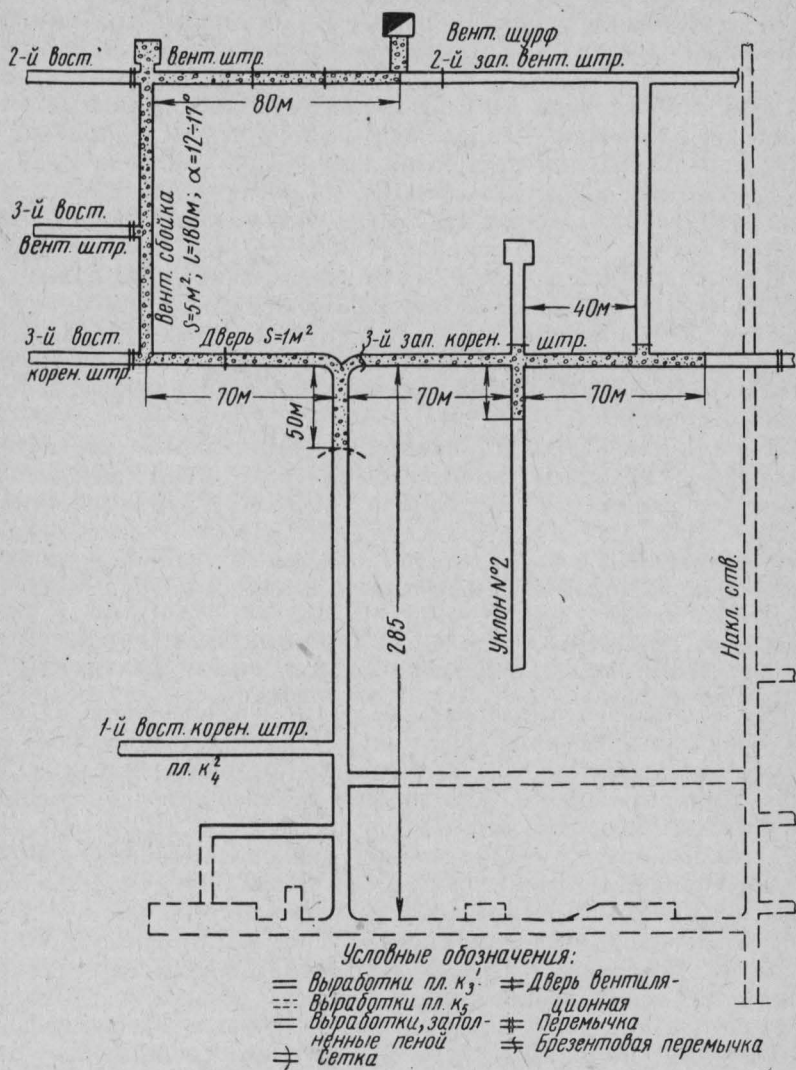


Рис. 50. План горных выработок шахты № 1—2 «Смолянка» треста Куйбышевуголь, которые заполнялись воздушно-механической пеной

ревянными кострами, пена заполняла и это пространство, иногда опережая движение основного потока пены по выработке на 5—7 м. У сопряжения вентиляционных штреков (восточного и запад-

ного) с шурфом вентиляционный поток, не имея в этом месте жестких ограждений, под действием вентиляционных струй (восточной и западной) в какой-то мере заполнил этот шурф. Кроме этого, у места сопряжения квершлага с 3-м коренным штреком из-за неплотностей, оказавшихся в парусной перемышке, поставленной в западной части 3-го коренного штрека, пенный поток разветвляется на два: основной поток продолжал двигаться по восточному штреку, бремсбергу и т. д., а менее интенсивный поток из-за большого сопротивления, создаваемого парусной перемышкой, перемещался по 3-му западному штреку и уклону.

Скорость движения пены в выработках по мере удаления от сетки, на которой она образовалась, значительно менялась и в среднем составляла: по квершлагу (длиной 50 м) до разветвления потока пены 1,7 м/сек; по 3-му восточному коренному штреку (длиной 70 м) 1,2 м/сек; по вентиляционной сбойке (длиной 180 м при угле наклона 12—17°) 0,5 м/сек; по 2-му восточному вентиляционному штреку (длиной 80 м) 0,33 м/сек.

Продолжительность движения пенного потока по выработкам общей протяженностью 390 м составила 12 мин 20 сек.

Объем выработок, заполненных по всему сечению воздушно-механической пеной, около 3000 м³. Общее количество пены, полученной для заполнения этих выработок, около 5000 м³. Следовательно, в течение эксперимента около 40% пены разрушалось.

Воздушно-механическая пена кратностью 800 и меньше, полученная в пеногенераторной установке, пригодна для заполнения сверху вниз наклонных и вертикальных выработок. При таком движении пенный поток хорошо преодолевает сопротивление восходящего вентиляционного потока, движущегося со скоростью до 1,5 м/сек.

Опытами по тушению горячей древесины в экспериментальной шахте 3-ей ВГСЧ (г. Макеевка) установлено, что воздушно-механическая пена кратностью около 1000 хорошо тушит горящую древесину, размещенную в выработках в виде костров, имитирующих обрушенную деревянную крепь, а также в виде крепи.

Вес костров 50, 100 кг и более. В кострах наибольшее затруднение возникало при тушении нижних слоев древесины. Горение воздушно-сухой древесины в виде крепи выработок (5, 7 и 10 рам) со сплошной затяжкой также хорошо ликвидировалось воздушно-механической пеной. При этом общий вес воздушно-сухой древесины превышал 1000 кг.

Воздушно-механическая пена перемещалась вентиляционной струей в сторону горячей древесины. Скорость движения вентиляционной струи 2,2—2,5 м/сек. Расстояние между сеткой и началом зоны горения крепи было около 35 м.

Во всех случаях опытного тушения пожаров пена после ликвидации горения проходила зону горения и выходила сплошным потоком из наклонной выработки (угол наклона 18°) на земную поверхность.

При тушении горения деревянной крепи общим весом свыше 1000 кг в опытной шахте было израсходовано 175 л пенообразователя ПО-1 и 3800 л воды.

Согласно данным Industrial and Engineering Chemistry (1956 г., № 11), английские исследователи успешно тушили воздушно-механической пеной горение резиновой конвейерной ленты.

На основании наших опытных исследований В. М. Сухаревский, Б. Л. Злотин, А. А. Гродский), дальность подачи эффективного потока воздушно-механической пены кратностью около 1000 обуславливается углом наклона выработки, скоростью движения вентиляционной струи и стойкостью пены. Для выработок, имеющих угол наклона около 25° , при скорости вентиляционного потока около 4 м/сек дальность подачи эффективного пенного потока в горных выработках достигает около 200 м.

Для тушения пожаров в вертикальных и наклонных выработках подача сверху вниз воздушно-механической пены кратностью 500—800 является целесообразной на глубину до 500 м от пеногенераторной установки. При этом стойкость пены и скорость движения вентиляционной струи воздуха являются определяющими факторами.

В практике борьбы с пожарами воздушно-механическая пена кратностью до 800 находит преимущественное применение для тушения пожаров в вертикальных и наклонных выработках с подачей пены сверху вниз.

В декабре 1957 г. в вентиляционной сбойке шахты № 2—2-бис треста Боковантрацит горение деревянной крепи до места обрушения пород было потушено заполнением выработки пеной.

В июне 1958 г. в вентиляционном ходке (угол наклона около 72°) шахты «Гидро» треста Орджоникидзеуголь потушено горение деревянной крепи заполнением выработки воздушно-механической пеной сверху вниз. Объем заполненной пеной выработки составлял 450 м³. На тушение израсходовано 480 л пенообразователя ПО-1.

В марте 1960 г. в восточной вентиляционной сбойке шахты «Давыдовка» № 1 треста Шахтерскантрацит был также потушен пожар (горение деревянной крепи) заполнением участка воздушно-механической пеной. Тушение горения водой вследствие значительного его развития не принесло успеха.

В устье вентиляционной сбойки была установлена пеногенераторная установка и получаемая в ней пена под действием собственной тяжести направлялась вниз в сбойку. Таким образом было потушено горение и охлаждены стены выработок на протяжении 190 м выработки. Очаги горения в завалах и ответвлениях выработок не были потушены — их потушили непосредственным воздействием пеной ручных химических огнетушителей. На тушение горения в сбойке было израсходовано около 11 000 кг пенообразователя.

Снижать концентрацию кислорода в атмосфере выработок инертными газами можно как в проходящей вентиляционной струе перед очагом горения, так и в пространстве, ограниченном пере-мычками, и в камерах. Количества инертных газов, необходимых для снижения концентрации кислорода в вентиляционном потоке и в ограниченном пространстве (при неподвижной или слабом движении атмосферы), значительно отличаются друг от друга.

Количество углекислого газа или азота для снижения концентрации кислорода, в вентиляционном потоке воздуха можно определять по формуле (43), которая при $K_3=0$ принимает вид:

$$K_1 = \frac{K_2(n_2 - n'')}{n'' - n_1}. \quad (46)$$

Из этой зависимости следует, что для снижения концентрации кислорода до $n''=10\%$ на каждые $1,66 \text{ м}^3/\text{сек}$ воздуха потребуется $1,83 \text{ м}^3/\text{сек}$ инертных газов.

Значительно экономичнее снижать концентрацию кислорода в пространстве, изолированном перемычками. При этом обязательно необходимо учитывать количество воздуха, поступающего в участок через неплотности пород и перемычек. Окислительные процессы, происходящие в изолированном пространстве, значительно снижают содержание кислорода в атмосфере участка.

Количество инертных газов, необходимое для снижения концентрации кислорода в изолированном участке, определяется по формуле (43).

Для повышения эффекта предупреждения образования взрывчатой смеси газов в участке и охлаждения пожарного участка количество подаваемых в него инертных газов ($\text{м}^3/\text{сек}$) должно быть максимальным. После снижения концентрации кислорода до n'' инертные газы должны подаваться в участок в количестве, необходимом для компенсации утечек газов из пожарного участка. Количество инертных газов, потребное для поддержания содержания кислорода в участке на уровне n'' , устанавливается с учетом газопроницаемости пород и перемычек (поступление воздуха через неплотности), а также выделения и образования горючих и инертных газов по формуле (42). Концентрация кислорода n'' в пожарном участке должна поддерживаться до прекращения горения в изолированном участке.

Во всех случаях тушения пожаров количество подаваемых в участок инертных газов определяется с учетом объема изолированного участка и количества воздуха, протекающего через пожарный участок. Чем менее газопроницаем участок, тем меньшее количество инертных газов требуется для тушения горения.

Из практики угольной промышленности известно, что все случаи неудачного применения инертных газов для тушения подземных пожаров объясняются несоответствием количества подавае-

мых инертных газов ($\text{м}^3/\text{сек}$) в участок и газопроницаемостью этого участка.

Так, например, в Донбассе в шахтах № 19 треста Чистяков-антрацит и № 7-8 треста Краснотучуголь пожары не были потушены при длительном нагнетании в пожарные участки углекислоты, так как инертные газы подавались в участки в количестве $0,033\text{—}0,075 \text{ м}^3/\text{сек}$ при газопроницаемости участков $0,13\text{—}0,166 \text{ м}^3/\text{сек}$.

Подтверждением того, что при слабой газопроницаемости изолированного участка пожар может быть потушен при сравнительно небольших расходах углекислого газа, могут служить следующие случаи из практики тушения пожаров.

В 1932 г. пожар, возникший от самовозгорания в выработанном пространстве пласта l_3 Девятка на гор. 533 м шахты «Комсомолец» (комбинат Донецкуголь), был изолирован перемычками. Для прекращения горения в изолированное пространство нагнетался углекислый газ. Всего в изолированное пространство было подано около 1000 м^3 углекислого газа. При этом часть углекислого газа (около 500 м^3) была получена в штреке перед перемычкой в специальной установке, работающей на основе взаимодействия HCl и Na_2CO_3 .

Температура газов за перемычкой на третий день после выпуска углекислоты снизилась с 42 до 18°C , а через семь дней горение полностью прекратилось.

В марте 1954 г. в выработанном пространстве пласта Александровского шахты «Ново-Кондратьевка» треста Калининуголь (Донбасс) возник пожар. Для тушения пожара в изолированный участок в течение 132 ч подавалась углекислота в количестве около $1 \text{ м}^3/\text{мин}$ (550 баллонов).

В хорошо герметизированном изолированном участке по прошествии двух суток после окончания выпуска всей углекислоты содержание газов в атмосфере участка составляло: $1,3\% \text{ O}_2$, $13\% \text{ CO}_2$, $0,5\% \text{ CH}_4$.

Такое содержание кислорода сохранилось в течение нескольких дней, и горение прекратилось.

§ 4. ТУШЕНИЕ ПОЖАРОВ ДЫМОВЫМИ ГАЗАМИ

Дымовые газы, которые могут быть продуктами отхода различных топок (котельные и др.) или произведены как средство для тушения пожаров в специальных топках, нуждаются в охлаждении, а также в специальном оборудовании для их транспортировки. При тушении подземных пожаров дымовые газы могут после прохождения пожарного участка поступать в атмосферу или отсасываться из пожарного участка, подвергаться обогащению инертными газами, охлаждаться и снова направляться в изолированный участок.

Пожарные газы изолированного участка, содержание кислорода в которых достигает 12—15%, также могут быть использованы для тушения пожара в этом же участке. Перед возвращением в участок пожарные газы должны для снижения содержания в них кислорода обогащаться инертными газами и одновременно охлаждаться.

В Советском Союзе рециркуляция пожарных газов для тушения пожара впервые по предложению инж. Д. В. Ермузевича была применена в выработках шахты «Коксовая-1» (Кузбасс).

Пожар, возникший в 1935 г. в выработанном участке на небольшой глубине (выше гор. 33 м), из-за больших провалов, плохой закладки (служащей для изоляции выработанных пространств) многочисленных выработок и близости очага к поверхности не поддавался тушению ни непосредственным воздействием, ни заиливанием.

Для рециркуляции дымовых газов в пожарный участок были проведены следующие работы. К предполагаемому месту расположения очага самовозгорания на глубину 24 м была пробурена одна скважина диаметром 300 мм и две скважины диаметром 200 мм на штрек гор. 33 м. Штрек и прилегающие к нему выработки были изолированы перемычками. Около скважины, пробуренной к пожарному очагу, был установлен цилиндрический паровой котел для получения и частичного охлаждения дымовых газов, получающихся при сжигании коксика. Дымоход котла был соединен с вентилятором, диффузор которого в свою очередь соединялся со вторым вентилятором (основным холодильным устройством для охлаждения топочных газов). От холодильника были проведены два газопровода к скважинам диаметром 200 мм. Такая коммуникация позволяла отсасывание пожарных газов из участка, их охлаждение и возвращение в очаг горения. В летнее время дымовые газы охлаждались проточной водой, а в зимнее обдуванием газопровода холодным воздухом, подаваемым вентилятором.

В самом начале была сделана попытка гашения и охлаждения очага горения рециркулирующими пожарными газами без добавления к ним топочных газов, что привело к некоторому понижению давления в пожарном участке и в связи с этим к подосу воздуха в пожарный участок. После этого в газопроводную сеть включили действующую топку парового котла. Тем самым давление в участке было повышено на 29,42—49,03 н/м². В состав дымовых газов входили около 17—19% CO₂ и 0,6—1,2% O₂.

Установка из-за неисправностей вентиляционного оборудования работала с перебоями. Однако через месяц, в течение которого пожарный участок проветривали охлажденными газами, были получены вполне ощутимые результаты: температура газов, замеренная в первой (отсасывающей) скважине на глубине 24 м, снизилась с 78 до 58 °С; температура в поверхностном газопроводе снизилась с 63 до 48 °С; концентрация кислорода в пробах газов,

взятых из-за перемычек в коренном штреке, снизилась с 2,4—14,4 до 1,8—2,2%.

Когда температура газов, отсасываемых из пожарного участка, снизилась до 35 °С, в смесь газов, приготовляемую для циркуляции, начали добавлять небольшими порциями свежий воздух с целью постепенного окисления угля. Пожар был успешно ликвидирован.

Способ использования пожарных газов для тушения горения в этих же подземных участках имеет свои недостатки, которые заключаются в необходимости снижения в них концентрации кислорода и температуры.

Одновременно снижать концентрацию кислорода и температуру рециркулируемых пожарных газов можно при помощи сухого льда или жидкой углекислоты.

Примером этому является случай тушения пожара в шахте Kochler (США, 1958 г.).

Пожар настолько сильно распространился в главных откаточных штреках и выработках, граничащих с ними, что пламя начало проникать через центральный вентилятор, работавший на всас. Попытки непосредственного воздействия на огонь не принесли желаемого эффекта.

Пожарный участок объемом около 800 000 м³ был изолирован перемычками. Для тушения горения пожарные газы из участка отсасывали вентилятором через одну выработку, а затем им же нагнетали в участок через другую. По истечении из выработки пожарные газы проходили в расположенную в трубопроводе перед вентилятором камеру (бункер), в которой размещался сухой лед, а затем после охлаждения и обогащения углекислотой они снова поступали в пожарный участок. Температура пожарных газов бункера снижалась до 30 °С. В тех случаях, когда в камере не было сухого льда, температура газов перед вентиляторами поднималась до 45—68 °С. Содержание кислорода в изолированном пространстве не превышало 3%.

В течение 7 месяцев было израсходовано на охлаждение рециркулируемых пожарных газов и снижение в них содержания кислорода около 1302,5 т жидкой и твердой углекислоты, что после испарения составило около 650 000 м³ газообразной углекислоты. Таким образом, на каждый кубический метр изолированного объема пожарного участка было подано около 0,8 м³ углекислоты в виде примеси к циркулируемым пожарным газам. После вскрытия пожарного участка оставшиеся малые очажки горения были потушены непосредственным воздействием водой и химической пеной ручных огнетушителей.

Ориентировочная оценка возможностей способа применения углекислого газа (сухой лед) в виде добавок к циркулирующим пожарным газам для их охлаждения и снижения в них концентрации кислорода выявлена в следующих расчетах ¹.

¹ Расчеты выполнил инж. М. И. Брайнин под руководством автора.

В этих расчетах были приняты следующие исходные данные. В смесительной камере по всей ее длине размещен сухой лед. Пожарные газы, протекая в смесительной камере, смешиваются с испаряющейся углекислотой и охлаждаются.

Тепло, отдаваемое проходящей смесью газов на отрезке dz смесительной камеры,

$$dQ_1 = -(G_r c_p^r - G_{\text{л}} c_p^{\text{л}}) \Delta T, \quad (47)$$

где G_r и $G_{\text{л}}$ — количества проходящих через камеру дымовых газов и испарившейся углекислоты, $\text{м}^3/\text{сек}$;
 c_p^r и $c_p^{\text{л}}$ — теплоемкости газов и паров CO_2 ;
 ΔT — перепад температур смеси газов на участке, $^{\circ}\text{C}$.

Тепло, воспринимаемое поверхностью сухого льда на том же участке,

$$dQ_2 = \alpha P dz (T - T_{\text{л}}), \quad (48)$$

где α — коэффициент теплоотдачи;
 P — периметр канала;
 T — температура проходящей смеси;
 $T_{\text{л}}$ — температура поверхности сухого льда.

Решая совместно уравнения (47 и 48), получим

$$-(G_r c_p^r + G_{\text{л}} c_p^{\text{л}}) \frac{dT}{dz} = \alpha P (T - T_{\text{л}}). \quad (49)$$

Согласно вышеизложенному, тепло, подводимое к поверхности сухого льда, расходуется на его испарение и нагрев полученных паров от температуры $T_{\text{л}}$ до температуры T , т. е.

$$\alpha P dz (T - T_{\text{л}}) = r dG_{\text{л}} + c_p^{\text{л}} dG_{\text{л}} (T - T_{\text{л}}), \quad (50)$$

где r — теплота сублимации сухого льда;
 $\alpha G_{\text{л}}$ — количество испарившегося льда на участке dz .

Полученное уравнение можно переписать в виде:

$$r \frac{\alpha G_{\text{л}}}{dz} + c_p^{\text{л}} (T - T_{\text{л}}) \frac{\alpha G_{\text{л}}}{dz} = \alpha P (T - T_{\text{л}}). \quad (51)$$

Уравнения (49 и 50) при условии, что $z=0$, $T=T_0$ и $G_{\text{л}}=0$ позволяют определить температуру смеси T и количество испарившегося льда $G_{\text{л}}$ на данном расстоянии z от места входа в камеру ($z=0$).

Для удобства решения введены следующие обозначения:

$$\frac{T - T_{\text{л}}}{T_0 - T_{\text{л}}} = D; \quad \frac{G_{\text{л}}}{G_r} = x; \quad \frac{z}{D} = y; \quad T_0 - T_{\text{л}} = \Phi_0 \text{ и } \frac{c_p^{\text{л}}}{c_p^r} = m,$$

где Φ_0 — периметр смесительной камеры.

Тогда при совместном решении уравнений (49) и (51) получим

$$\frac{dz}{dy} \left(1 + \frac{B}{A} m\vartheta \right) = B\vartheta \quad (52)$$

и

$$-(1 + mz) \frac{d\vartheta}{dy} = A\vartheta, \quad (53)$$

где

$$A = 4n \frac{Nu}{Pe}; \quad B = \frac{Ac_p^2 \Phi_0}{r};$$

$$Nu = \frac{aD_{\text{гидр}}}{\lambda} \text{ — критерий Нуссельта;}$$

$$Pe = \frac{wD}{a} \text{ — критерий Пекле;}$$

$$n = \frac{\bar{\lambda}}{\lambda};$$

$\bar{\lambda}$ — эквивалентная теплопроводность смеси;

λ_r — теплопроводность пожарных газов;

$D_{\text{гидр}}$ — гидравлический диаметр канала, образованного льдом;

W — скорость движения смеси газов;

a — коэффициент температуропроводности пожарных газов.

В результате совместного решения уравнений (52) и (53) при граничных условиях ($\vartheta=1$, $z=0$), получим

$$\vartheta = \frac{e^{-\frac{A}{1+mz_{\max}} y}}{1 + mz_{\max} \left(1 - e^{-\frac{A}{1+mz_{\max}} y} \right)}. \quad (54)$$

Для расчетов можно допустить, что $m=1$ и $n=1$, т. е. полагать

$$c_p^r = c_p^r; \quad \bar{\lambda} = \lambda_r.$$

Особый практический интерес представляет определение числа циклов P рециркуляции газа, по истечении которых концентрация кислорода снижается в K раз.

Для расчета числа циклов рециркуляции газов принимаем следующие исходные данные:

$$x_{O_2} = \frac{G_{O_2}}{G_r + G_{CO_2}} = \frac{x_{O_2}}{1 + z}.$$

где $x_{O_2} = \frac{G_{O_2}}{G_r}$ — начальная концентрация кислорода;

$x'_{O_2} = \frac{G_{O_2}}{G_r + G_{CO_2}}$ — концентрация кислорода после P циклов рециркуляции газов.

Учитывая, что $\frac{x_{O_2}}{x'_{O_2}} = K$, то из предыдущего уравнения находим

$$x = K - 1.$$

После этого определяем число циклов рециркуляции пожарных газов.

Задача сводится к повторному решению уравнений (52) и (53) при начальных условиях: при $y=0$, $\phi_p=1$ и $x=x_p$.

Обоснованием допущения $\phi=1$ может служить то обстоятельство, что температура пожарных газов меняется медленнее, чем концентрация паров CO_2 , вследствие периодического подогревания при их прохождении через изолированный участок.

Решение для x_{p+1} принимает вид:

$$\frac{x_{p+1} - x_p}{x_{\max}(1 + m x_p)} = 1 - e^{-\frac{Ay_k}{1 + m x_{\max}} \cdot \frac{1}{1 + m x_p}}, \quad (55)$$

где $y_k = \frac{L}{D}$ (L — длина смесительной камеры).

Учитывая, что обычно $\frac{Ay_k}{1 + m x_{\max}} \cdot \frac{1}{1 + m x_p} \ll 1$ и что величина A очень мала, можно предположить, что

$$1 - e^{-\frac{Ay_k}{1 + m x_{\max}} \cdot \frac{1}{1 + m x_p}} \approx \frac{Ay_k}{1 + m x_{\max}} \cdot \frac{1}{1 + m x_p},$$

так как $1 - e^{-x}$ при малых значениях x , приблизительно равно x , то уравнение (55) может быть записано в виде:

$$x_{p+1} - x_p = \frac{Ay_k}{1 + m x_{\max}} x_{\max}, \quad (56)$$

т. е. x_p образует арифметическую прогрессию с разностью $\frac{Ay_k}{1 + m x_{\max}} x_{\max}$ и с начальным членом $x_0=0$.

Следовательно,

$$x_p = \frac{Ay_k}{1 + m x_{\max}} x_{\max} P.$$

Учитывая, что $A=4 \frac{Nu}{Pe}$ и что $\kappa_p = K-1$, из уравнения (56) можно получить зависимость для определения количества циклов рециркуляции пожарных газов

$$P = \frac{Pe}{4Nu} \frac{D}{L} \frac{1 + \kappa_{\max}}{\kappa_{\max}} (K-1). \quad (57)$$

Полагаем, что движение в канале турбулентное и $m=1$, поэтому

$$Nu = 0,027 Pe^{0,8}.$$

После таких допущений уравнение (57) преобразуется:

$$P = 10 Pe^{0,2} \frac{D}{L} \left(1 + \frac{1}{\kappa_{\max}}\right) (K-1). \quad (58)$$

Полагая в уравнении (58) $Pe = 1,1 \cdot 10^5$ (что соответствует $D=1$ м и $w=2$ м/сек и $\kappa_{\max}=0,38$ (что соответствует $T_0=420$ °К и $T_{\text{пл}}=195$ °К), найдем

$$P = 400 \frac{D}{L} (K-1). \quad (59)$$

Принимая в уравнении (59) $\frac{L}{D}=5$ и $K=3$, находим, что $P=160$ циклов, т. е. для снижения концентрации кислорода в изолированном пространстве в 3 раза необходимо совершить 160 циклов рециркуляции газов.

Расчет продолжительности рециркуляции газов в течение одного цикла производим исходя из предположения, что средняя площадь поперечного сечения изолированных выработок составляет 4 м² при длине 500 м. Это соответствует объему изолированного пространства $E=2000$ м³.

На основании принятых данных объемный расход газовой смеси K_4 через смесительную камеру составит

$$K_4 = \frac{\pi D^2}{4} w = 1,57 \text{ м}^3/\text{сек}.$$

Продолжительность одного цикла рециркуляции газа составит

$$\tau = \frac{E}{K_4} = \frac{2000}{1,57} = 1275 \text{ сек} = 0,35 \text{ ч}.$$

Всего на совершение 160 циклов потребуется около 56 ч.

Отношение веса испарившейся углекислоты к начальному весу дымовых газов, которые должны принять участие в рециркуляции,

$$\kappa_p = K-1 = 2.$$

В данном случае вес дымовых газов, участвующих в рециркуляции составит около 2100 кг. Следовательно, в течение 56 ч в смесительной камере должно испариться около 4200 кг углекислого газа (сухой лед), или около 2300 м³. Количество испаряющегося углекислого газа должно составить около 0,7 м³/мин.

Эффективность снижения температуры пожарных газов в смесительной камере следует рассчитывать по формуле (54).

Учитывая, что величина $\frac{A}{1 + m\kappa_{\max}} y$ очень мала и полагая, что $m=1$, уравнение (54) можно записать в виде:

$$\vartheta = \frac{1 - \frac{A}{1 + m\kappa_{\max}} y}{1 - A \frac{m\kappa_{\max}}{1 + m\kappa_{\max}}} \cong 1 - Ay, \quad (60)$$

где как и раньше $A = 4n \frac{Nu}{Pe} = 0,1 Pe^{-0,2}$

Учитывая, что $Pe = 1,1 \cdot 10^5$, найдем $A = 0,01$.

Тогда из формулы (60) получим

$$\vartheta = 1 - 0,01y,$$

где $y = \frac{z}{D}$.

На полной длине смесительной камеры ($z=L$) температура понизится на

$$T - T_0 = (T - T_{\text{л}})(1 - \vartheta),$$

т. е.

$$T - T_0 = 0,01 \frac{L}{D} (T - T_{\text{л}}).$$

Учитывая, что $\frac{L}{D} = 5$ и $T - T_{\text{л}} = 220^\circ\text{C}$, найдем:

$$T - T_0 = 11^\circ\text{C},$$

т. е. за один цикл температура пожарных газов снизится на 11°C.

Выводы

Пожарная опасность в горных выработках угольных шахт СССР остается ощутимой, а в некоторых бассейнах и месторождениях она чрезвычайно высока.

Анализом статистических данных установлено, что ежегодно абсолютное количество всех видов пожаров возрастает.

Так, в течение 1953—1962 гг. общее абсолютное количество пожаров на всех месторождениях СССР по сравнению с периодом 1946—1952 гг. возросло в 1,9 раза, а на отдельных месторождениях до 3,4 раза.

Развитие подземных пожаров обусловлено как несвоевременным началом их тушения в связи с неудовлетворительной подго-

товкой шахт к ликвидации аварий, так и недостаточностью средств борьбы с ними.

Борьба с пожарной опасностью в горных выработках угольных шахт должна с одинаковой остротой протекать по следующим этапам: предупреждение возникновения опасных тепловых импульсов в горных выработках, предупреждение возникновения и развития горения; тушение подземных пожаров.

Предупреждение возникновения опасных тепловых импульсов, а также горения и его развития (первый и второй этапы борьбы с пожарной опасностью) должно осуществляться непрерывно в течение всей деятельности шахт. На этих основных этапах успех борьбы с пожарной опасностью обусловлен неукоснительным выполнением мероприятий, указанных в Правилах безопасности в угольных и сланцевых шахтах и в их приложениях, в течение всего эксплуатационного периода горных выработок.

В борьбе с пожарной опасностью в случае развития пожаров (третий этап) в подземных выработках главная роль возлагается на ВГСЧ. Успех на этом этапе обусловлен подготовленностью ВГСЧ к борьбе с подземными пожарами и оснащением их необходимым оборудованием и средствами борьбы с горением в горных выработках.

Для успешной борьбы с подземными пожарами в самом начале их возникновения необходимо: тщательно разрабатывать мероприятия для ликвидации возможных случаев возникновения пожаров (план спасения людей и ликвидация подземных аварий) и, что также весьма важно, обучить всех работающих в шахте приемам ликвидации пожаров.

Для осуществления требований противопожарной профилактики необходимо своевременно снабжать угольные предприятия следующим оборудованием и материалами: электрическими экранированными кабелями с гибкой негорючей оболочкой; калиброванными плавкими вставками, рассчитанными на плавление от различной силы тока; трансформаторным маслом или его заменителем; негорючими конвейерными лентами; гуммированными приводными и направляющими барабанами; негорючими вентиляционными трубами, затяжками и др.

Методика по определению склонности углей и углесодержащих пород к самовозгоранию нуждается в усовершенствовании. При этом необходимо учитывать влияние климатических и горно-технических условий в выработках на склонность углей к самонагреванию.

Все целики, опасные по самовозгоранию угля, оставляемые у мест геологических нарушений, должны подвергаться профилактической обработке ингибиторами (растворами, суспензиями и газами) как по поверхности, так и в глубине пласта (инъекцией).

Службами шахт необходимо определять ранние стадии всех видов пожаров, что может способствовать своевременному началу их тушения.

Для повышения эффективности борьбы с пожарами необходимо применять средства, позволяющие тушить пожары по всему сечению выработки и на значительном удалении. К этому виду средств борьбы с пожарами могут быть отнесены следующие: пена высокой кратности для подачи ее к очагу горения сверху вниз; поток движущейся по всему сечению выработки пены высокой кратности, перемещение которой достигается вентиляционной струей; инертные газы в газообразном, жидком и твердом состояниях; вода в мелкодисперсном состоянии (близко к туманнообразному состоянию).

Для предупреждения активизации окислительных процессов и явлений самонагревания на поверхности углей необходимо в состав жидкостей (воды или заиловочной смеси), которыми заполняются выработки, вводить примеси ингибиторов (антикатализаторов). В качестве таких ингибиторов могут служить раствор гашеной извести $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и бикарбонат кальция $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$.

Для разработки мероприятий и средств борьбы с пожарной опасностью в горных выработках научно-исследовательским и конструкторским институтами необходимо решить следующие актуальные задачи:

- уточнить методики по определению склонности углей и углесодержащих пород к самонагреванию;

- исследовать влияние горнотехнических, геологических и климатических условий на самонагревание углей и углесодержащих пород в горных выработках;

- уточнить мероприятия и производственные режимы, направленные на предупреждение самовозгорания углей в выработках;

- исследовать причины, которые повышают эндогенную пожароопасность у мест геологических нарушений;

- разработать мероприятия по снижению низкотемпературных окислительных процессов угля в горных выработках;

- изыскать наиболее эффективные средства борьбы с пожарами (при этом особое внимание должно быть обращено на дистанционное тушение);

- разработать защиту электрических сетей постоянного тока, негорючие заменители трансформаторного масла, конструкции экранированных кабелей, негорючие материалы для вентиляционных труб, конструкции негорючей транспортной ленты, конструкции гуммированных шкивов, аппаратуру для автоматической остановки ненормально работающей конвейерной установки и дистанционного управления такими установками, схему пожарной сигнализации для подземных выработок шахты, оборудование для автоматического тушения подземных пожаров, аппаратуру для автоматической подачи инертных газов в пожарные участки, способы и средства быстрой и герметичной изоляции целиков угля, отработанных пространств и временно оставляемых тупиковых выработок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев В. И., Николаев В. Ф. О причинах пожара на руднике Эге-Хая. «Безопасность труда в промышленности», 1960, № 1.
2. Аршава В. Г. О причине взрыва газа и пыли на Рутченковской шахте № 31. «Безопасность труда в промышленности», 1960, № 3.
3. Баженов В. А. Проницаемость древесины жидкостями и ее практическое значение. Изд-во АН СССР, 1952.
4. Балтайтис В. Я. Тушение пожаров в угольных шахтах. Госгортехиздат, 1961.
5. Быков Л. Н. Рудничные пожары. Госгортехиздат, 1963.
6. Веселовский В. С. Химическая природа горючих ископаемых. Изд-во АН СССР, 1955.
7. Веселовский В. С. Переход низкотемпературного окисления в самовозгорание. Проблемы рудничной аэрологии. Госгортехиздат, 1959.
8. Воропаев А. Ф. Управление тепловым режимом в глубоких шахтах. Госгортехиздат, 1961.
9. Гупо Ципо. Информационный сборник. Способы и средства огнезащиты. Изд-во Министерства коммунального хозяйства РСФСР, 1952.
10. Демидов П. Г. Основы горения веществ. Изд-во Министерства коммунального хозяйства РСФСР, 1951.
11. Единые правила безопасности при взрывных работах. Главное управление Госгортехнадзора при Совете Министров СССР. Углетехиздат, 1955.
12. Захаров А. Б. О механизме действия пульпы при профилактическом заиливании отработанных мощных крутых пластов Кузбасса. Борьба с подземными пожарами на шахтах Кузбасса. ЦИТИ угольной промышленности, 1959.
13. Ихно А. Г., Гетманенко В. И. Повышение электробезопасности шахтной аппаратуры. «Безопасность труда в промышленности», 1958.
14. Лейбов Р. М., Москалец К. И. Защита от утечек электрического тока. «Безопасность труда в промышленности», 1958, № 4.
15. Маевская В. М. Предупреждение самовозгорания угля в шахтах методом газовой профилактики. Вопросы безопасности в угольных шахтах. ВостНИИ. Углетехиздат, 1959.
16. Никитин Н. И. Химия древесины. Изд-во АН СССР, 1951.
17. Ремизов К. М. Из опыта ликвидации очагов подземных пожаров. ЦИТИ МУП СССР, 1955.
18. Рябов И. В. Современные средства тушения пожаров пенами. Изд-во Министерства коммунального хозяйства РСФСР, 1956.
19. Парусимов В. Ф. Подготовка выемочных полей при разработке мощных пластов в Кузбассе. Углетехиздат, 1955.
20. Печук И. М., Маевская В. М. Эндогенные пожары в Донбассе. Углетехиздат, 1954.
21. Правила безопасности в угольных и сланцевых шахтах. Издательство «Недра», 1964.

22. Предводителей А. С., Хитрин А. Н. и другие. Горение углерода. Изд-во АН СССР, 1949.

23. Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок промышленных предприятий. Госэнергоиздат, 1955.

24. Скочинский А. А., Комаров В. Б. Рудничная вентиляция. Углетехиздат, 1951.

25. Скочинский А. А., Макаров С. З. Исследования о применении антипирогенов при борьбе с рудничными пожарами. Изд-во АН СССР, 1947.

26. Скочинский А. А., Огиевский В. М. Рудничные пожары. Углетехиздат, 1954.

27. Соболев Г. Г. Организация горноспасательных работ. Углетехиздат, 1959.

28. Судоплатов А. П., Баранов А. И. О повышении пожарной безопасности разработки мощных крутопадающих пластов Кузбасса. «Уголь», 1953, № 9.

29. Сухаревский В. М. Изоляция подземных пожаров с применением инертных газов. Углетехиздат, 1952.

30. Сухаревский В. М., Шаповалов И. Ф. Тушение пожаров в подземных камерах и наклонных стволах. Сборник статей «Горноспасательные работы в шахтах». Углетехиздат, 1955.

31. Сухаревский В. М. Дистанционное тушение подземных пожаров пенным потоком. «Безопасность труда в промышленности», 1958, № 1.

32. Сухаревский В. М., Злотин Б. Л. Тушение подземных пожаров воздушно-механической пеной. ЦИТИ угля. Углетехиздат, 1958.

33. Солодников Б. А., Ковтун И. А. Новые способы тушения подземных пожаров. Научная и техническая информация. ЦИТИ угля № 11, 1959.

34. Хорольский В. Т., Егоров В. А. Пожары в угольных шахтах и рудниках от трения подъемных канатов и меры их предупреждения. Информационно-технический листок. «Горноспасательное дело». ЦНИЛ, 1958, № 3.

35. Хрисанфова А. И., Шубникова К., Захаров А. Н., Гусев Р. П. Ингибиторы для борьбы с окислением и самовозгоранием ископаемых углей. Изд-во АН СССР, 1959.

36. Щербань А. Н., Кремнев О. А. Научные основы расчета и регулирования теплового режима глубоких шахт, т. 1 и 2. Изд-во АН УССР, 1959, 1960.

37. Щербань А. Н., Цирульников А. С. Газопроницаемость угольных пластов. Изд-во АН УССР, 1958.

38. Hofbauer I., Sobor G., Новые методы предупреждения шахтных пожаров. Uhli, 1957, t. 7. No 4.

39. Плаше Ф. Рудничная вентиляция и борьба с пожарами. Пер. с нем. Углетехиздат, 1959.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
Часть I. Пожарная опасность в угольных шахтах	5
Введение	5
Глава I. Возникновение и развитие пожаров в горных выработках	7
§ 1. Факторы, определяющие возникновение и развитие пожаров	7
§ 2. Формы опасных тепловых импульсов в горных выработках	8
§ 3. Основные причины возникновения подземных пожаров	11
§ 4. Влияние метеорологических условий на самовозгораемость углей	20
§ 5. Горючие вещества в выработках шахт и места возникновения пожаров	20
Глава II. Общие сведения о воспламенении и горении горючих газов	24
§ 1. Некоторые закономерности и формы окисления	24
§ 2. Теоретические основы горения газовых смесей	26
§ 3. Воспламенение и горение метана	28
§ 4. Условия воспламенения и горения смеси метана с воздухом	30
§ 5. Воспламенение метана в смеси с воздухом и инертными газами	38
§ 6. Воспламенение водорода в смеси с воздухом	42
§ 7. Воспламенение окиси углерода в смеси с воздухом	44
§ 8. Пределы воспламенения газовых смесей, содержащих группу горючих газов	45
§ 9. Условия воспламенения группы горючих газов	45
§ 10. Изменение состава воздуха при горении газов	47
Глава III. Горение твердых и жидких материалов	48
§ 1. Воспламенение и горение угольной пыли	48
§ 2. Воспламенение и горение угля	49
§ 3. Воспламенение и горение древесины	51
§ 4. Горение резиновых масс	54
§ 5. Воспламенение масел	55
§ 6. Изменение состава воздуха при горении твердых и жидких материалов	56
§ 7. Состав газов в изолированных пожарных участках	58
Часть II. Способы предупреждения возникновения и развития пожаров в горных выработках	62
Глава IV. Предупреждение возникновения опасных импульсов тепла в горных выработках	62
§ 1. Вводные сведения	62
§ 2. Предупреждение самовозгорания углей	63
§ 3. Защита электрических сетей от перегрузок	75
§ 4. Защита сетей от коротких замыканий	77
§ 5. Защита шахтной электросети от опасных токов утечки	80
§ 6. Предупреждение возникновения тепловых импульсов при взрывных работах	80
§ 7. Предупреждение возникновения опасных тепловых импульсов при канатной откатке и на ленточных конвейерных установках	85

Глава V. Ограничение количества горючих материалов и конструкций в горных выработках	86
§ 1. Ограничение применения горючих конструкций крепи в горных выработках	86
§ 2. Основы для снижения горючести древесины; замена горючих материалов негорючими	87
Глава VI. Пропитка древесины огнезащитными растворами	91
§ 1. Пропиточные средства	91
§ 2. Пропитываемость древесины	94
§ 3. Способы огнезащиты опытных образцов древесины	98
§ 4. Испытание на воспламеняемость образцов огнезащищенной древесины	100
§ 5. Антисептичность огнезащищенной древесины	105
Глава VII. Подготовка шахт к ликвидации пожаров	106
§ 1. Общие принципы обеспечения горных выработок противопожарным оборудованием и средствами	107
§ 2. Противопожарное оборудование и средства на поверхности шахт	108
§ 3. Оборудование наклонных стволов, штолен и околоствольных дворов	111
§ 4. Противопожарное оборудование горных выработок	113
§ 5. План ликвидации шахтных аварий	116
Часть III. Средства и способы борьбы с подземными пожарами	118
Глава VIII. Средства для тушения пожаров	118
§ 1. Вода	118
§ 2. Пены	121
§ 3. Инертные газы и порошковые материалы	132
Глава IX. Способы непосредственного воздействия на очаг горения	141
§ 1. Непосредственное воздействие на очаг горения водой	142
§ 2. Применение пен для непосредственного тушения очагов горения	143
§ 3. Применение порошковых материалов для непосредственного тушения очагов горения	147
Глава X. Локализация очагов пожара	148
§ 1. Применение водяных завес	148
§ 2. Создание негорючих зон	149
Глава XI. Изоляция очагов пожара перемычками	150
§ 1. Газопроницаемость перемычек	150
§ 2. Последовательность закрытия перемычек	155
Глава XII. Предупреждение образования взрывчатой смеси газов	156
§ 1. Способы предупреждения образования взрывчатой смеси газов	156
§ 2. Предупреждение образования взрывчатой смеси газов проветриванием пожарного участка	160
§ 3. Предупреждение образования взрывчатой смеси газов нагнетанием инертных газов в пожарный участок	165
§ 4. Примерный подсчет подачи воздуха и инертных газов в пожарный участок	170
§ 5. Применение углекислоты для предупреждения взрывов газа в пожарных участках	174
Глава XIII. Дистанционное тушение пожаров в горных выработках	178
§ 1. Дистанционное тушение водой и ее растворами	178
§ 2. Дистанционное тушение пожаров воздушно-механической пеной высокой кратности	181
§ 3. Применение инертных газов для тушения пожаров	185
§ 4. Тушение пожаров дымовыми газами	186

ИМЕЮТСЯ В ПРОДАЖЕ

ОРЕХОВ В. С., канд. техн. наук. Пожарная охрана предприятий горной промышленности. Госгортехиздат. 1964. 166 стр. Ц. 49 коп.

БЫКОВ Л. Н. Рудничные пожары. Госгортехиздат. 1963. 159 стр. Ц. 47 коп.

ИГНАТЕНКО К. П., БРАЙЦЕВ А. В., ВЕЙЦ Е. Г. Рудничная вентиляция, освещение, рудничные пожары и горноспасательное дело. Госгортехиздат. 1961. 265 стр. Ц. 64 коп.

БАЛТАЙТИС В. Я. Тушение пожаров в угольных шахтах. Госгортехиздат. 1961. 283 стр. Ц. 96 коп.

Требуйте эти книги в магазинах книготорга.

При отсутствии книг в местных магазинах заказ направляйте по адресу: Москва, В-168, 5-я Черемушкинская ул., д. 14. Магазин № 93 Москниги.

ГОТОВЯТСЯ К ПЕЧАТИ

ОВЧИННИКОВ В. Ф., инж. Предупреждение взрывов при изоляции и вскрытии подземных пожаров. Госгортехиздат. 8 л. 4000 экз. Ц. 40 коп. II кв.

В книге изложены способы быстрого определения взрываемости газов, образующихся при подземных пожарах, рассмотрены причины взрывов за перемычками и способы предотвращения их при изоляции подземных пожаров в газовых угольных шахтах, причины взрывов и рецидивов в неправильно списанных и вскрытых пожарных участках.

В книге даны простейшие методы расчета количества углекислоты, нужного для предотвращения взрыва в момент изоляции пожарного участка, рассмотрен новый метод ликвидации подземных пожаров комбинированным способом без применения баррикадных перемычек, описаны необходимые технические средства предотвращения взрыва за изолирующими перемычками.

Книга рассчитана на инженерно-технических работников угольных шахт, ВГСЧ, Госгортехнадзора, а также на студентов горных вузов. № 6231/ГК.

Заказы на книги направляйте в магазин № 93 Москниги по адресу: Москва, Б-150, ул. Подбельского, 7/20.

211.

ЗАМЕЧЕННЫЕ ОПЕЧАТКИ

Стр.	Строка	Напечатано	Должно быть
9	9 снизу	номинальных	нормальных
12	2 снизу	Лугаская	Луганская
37	22 снизу	породу о породу	породы о породу.
78	10 снизу	1963 г.	1964 г.
127	14 сверху	суфонафтеновой	сульфонафтеновой
140	19 снизу	Сао	СаО
142	7 снизу	близком расстоянии очагов	близком расстоянии от очагов
165	4 сверху	(нагнетать) воздух	(нагнетать) воздух
170	17 снизу	$U_{уд}$	$V_{уд}$
189	16 снизу	$\dots \frac{dT}{dz} = \dots$	$\dots \frac{\Delta T}{dz} = \dots$
195	16 сверху	Са (ОН ₂)	Са (ОН) ₂
200	2 снизу	№ 93	№ 95

В. М. Сухаревский. Основные вопросы снижения пожарной опасности в угольных шахтах.