

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ,  
МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ  
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД  
ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ГІРНИЧИЙ ФАКУЛЬТЕТ  
КАФЕДРА ОХОРОНИ ПРАЦІ ТА АЕРОЛОГІЇ

**РУДНИЧНІ ПОЖЕЖІ ТА ВИБУХИ**

**КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ**

Галузь знань: 0503 Розробка корисних копалин  
Напрямок підготовки: 6.050301 «Гірництво»  
Спеціальність: 7.05030101 Розробка родовищ та видобування корисних копалин. Охорона праці в гірництві - ОПГ.  
8.05030101. Розробка родовищ та видобування корисних копалин. Охорона праці в гірництві - ОПГ

**Розглянуто**  
на засіданні кафедри  
«Охорона праці та аерологія»  
протокол № \_\_\_ від «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2011 р.

**Затверджено**  
на засіданні  
навчально-видавничої ради ДонНТУ  
протокол №\_\_ від «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2011 р.

**м. Донецьк – 2011**

Курс лекцій з дисципліни «Рудничні пожежі та вибухи» для студентів спеціальності 7.05030101 Розробка родовищ та видобування корисних копалин. Охорона праці в гірництві - ОПГ. 8.05030101. Розробка родовищ та видобування корисних копалин. Охорона праці в гірництві – ОПГ.

Укладачі: Ю.Ф. Булгаков – Донецьк, ДонНТУ, 2011 р. – 139 с.

Курс лекцій з дисципліни «Рудничні пожежі та вибухи» написаний на базі учбової програми, затвердженої міністерством освіти і науки України, відповідно до рішення учбово-видавничої Ради ДонНТУ.

Курс лекцій призначений для студентів 7.05030101 Розробка родовищ та видобування корисних копалин. Охорона праці в гірництві - ОПГ. 8.05030101. Розробка родовищ та видобування корисних копалин. Охорона праці в гірництві – ОПГ.

При вивченні курсу "Рудничні пожежі" конспект лекцій є основним документом, який базується на забезпеченні пожежної безпеки, як невід'ємною частиною державної діяльності, що до охорони життя та здоров'я людей, національного багатства і повноцінного природного середовища. Формування знань із пожежної безпеки здійснюються у відповідності до структури навчального плану спеціальності з урахуванням логічного зв'язку у сфері різноманітних навчальних дисциплін.

Укладачі:

Ю.Ф. Булгаков

Відповідальний

за випуск

Ю.Ф.Булгаков, проф., д.т.н.

## ВВЕДЕНИЕ

В соответствии с законодательством Украины об охране труда, обеспечение пожарной безопасности промышленных объектов, в том числе и угольных шахт, является важной и неотъемлемой частью государственной деятельности по охране жизни и здоровья людей, сохранению национального богатства и защите окружающей природной среды. Многолетний опыт тушения подземных пожаров в Украине и за рубежом убедительно показывает, что уровень технического совершенства пожарной техники наряду с человеческим фактором зачастую оказывает решающее значение на исход тушения подземного пожара. Этим вызвана необходимость постоянного совершенствования существующих и создания новых высокоэффективных средств пожарного назначения с учетом осложнения горнотехнических и горно-геологических условий и соответствующих изменений технологии выемки угля. Уже сегодня уровень противопожарной защиты подавляющего большинства угольных шахт Украины не адекватен их пожарной опасности.

Статистика свидетельствует о том, что, несмотря на снижение добычи угля, количество экзогенных пожаров в шахтах не уменьшается. Ежегодно в Украине происходит от 50 до 80 подземных пожаров экзогенного происхождения, которые наносят экономический ущерб угольным предприятиям Минтопэнерго в размере 20...40 млн. грн. в год. При этом из технологической цепи шахты на длительное время выводятся горные выработки, содержащие дорогостоящее оборудование и подготовленные к выемке запасы угля. Этим обусловлена необходимость обобщения отечественного и зарубежного опыта, накопленного в области создания технических средств и способов пожаротушения, его критического анализа с позиций современных требований охраны труда, действующих нормативно-технических актов, с учетом новейших

технологий, для того, чтобы выявить прогрессивные тенденции, развивая и совершенствуя которые можно существенно повысить эффективность тушения подземных пожаров.

## **ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ КУРСА**

**Цель** преподавания дисциплины "Рудничные пожары" - подготовка инженеров, которые должны знать научные и инженерные основы пожарной безопасности и уметь применить их в практике горняка. Преподавание дисциплины имеет воспитательный аспект. На формирование убеждений студентов постоянное влияние осуществляется на протяжении всего учебного процесса - лекции, практические и лабораторные занятия, дипломное проектирование.

**Задача** дисциплины "Рудничные пожары" заключается в изучении правовой основы деятельности в отрасли пожарной безопасности, нормативных актов и других документов, порядка проведения экспертизы проектной и другой документации, касательно пожарной безопасности.

Обязанности руководителя предприятия и других должностных лиц относительно обеспечения пожарной безопасности объекта и отдельных участков производства, основные причины пожаров, меры пожарной безопасности, которых необходимо сдерживаться перед началом работы и ее окончании, содержание территории предприятия, противопожарные разрывы, источники противопожарного водоснабжения, противопожарный режим на объекте, основные требования пожарной безопасности в зданиях и помещениях, при проведении электрогазосварочных, паяльных и других огневых работ, правила использования огнетушительных средств, противопожарного оборудования.

**Правовой основой** деятельности в отрасли пожарной безопасности является Конституция, "Закон Украины о пожарной безопасности" и другие законы Украины, постановления Верховной Рады Украины, указы и распоряжения Президента Украины, некоторые постановления и распоряжения Кабинета Министров Украины, решения органов государственной исполнительной власти местного и регионального самоуправления, принятые в пределах их компетенции.

## **ПОЖАРНАЯ ОПАСНОСТЬ ШАХТ**

*Возникает вопрос: как оценить пожарную опасность горных выработок и шахты в целом? И так, рассмотрим показатели пожарной опасности и методы их определения.*

### **Показатели пожарной опасности и методы их определения**

Наличие тех или иных условий, определяющих возможность возникновения, развития и распространения рудничного пожара, а также нанесения им материального ущерба и создания угрозы жизни людей, определяет уровень пожароопасности шахты в целом. В общем виде пожароопасность шахты можно представить следующей зависимостью:

$$P_{ш} = f(P_z P_o P_u P_p P_m P_l)$$

в которой представлены вероятности:  $P_z$  - наличия горючих веществ, материалов и содержащего их оборудования;  $P_o$  - наличия окислителя;  $P_u$  - возникновение опасного теплового импульса;  $P_p$  - возможности развития и распространения пожара;  $P_m$  - нанесения материального ущерба;  $P_l$  - угрозы жизни застигнутых пожаром людей.

Все эти факторы, характеризующие пожароопасность, можно представить как сложные вероятности, являющиеся функциями других факторов.

Возникает вопрос, а как снизить пожароопасность шахты? Снижение пожароопасности шахты может быть достигнуто ограничением применения горючих материалов, заменой их негорючими, улучшением технологии выемки угля. (Здесь есть некоторые нюансы... дорогие ленты ш. им. Засядько).

Пожароопасность горных выработок может быть снижена путем уменьшения окислителя (кислорода рудничного воздуха), что может быть достигнуто за счет надежной герметизации выработанного пространства и погашенных выработок, их полным или частичным заливанием и заполнением инертными газами. (Хотя Вы понимаете, что уменьшить количество воздуха в шахте тоже не всегда можно...).

Вероятность возникновения опасного теплового импульса может быть снижена осуществлением пожарной профилактики при эксплуатации оборудования и ведении технологических процессов, в частности, при применении ленточных конвейеров, электрооборудования и кабельных сетей, при ведении взрывных, электро- и газосварочных работ, а также при выборе системы разработки пластов, склонных к самовозгоранию углей.

Развитие и распространение пожара зависят от степени горючести сосредоточенных в месте возникновения пожара материалов, их количества и размещения в горной выработке, скорости вентиляционного потока, а также от эффективности противопожарной защиты, могут быть ограничены снижением наличия горючих веществ, материалов и содержащего их оборудования и путем совершенствования противопожарной защиты, вплоть до полной автоматизации тушения.

Материальный ущерб, нанесенный пожаром, зависит от стоимости выработок и расположенного в ней оборудования, которые могут быть уничтожены пожаром, и затрат на его тушение. Все это, в свою очередь, зависит от интенсивности развития и распространения пожара, т.е. от тех же факторов, что и  $P_p$ .

Вероятность угрозы жизни людей при пожаре зависит от наличия людей в выработках, заполненных продуктами горения, степени токсичности этих продуктов, обеспечения людей самоспасателями, наличия запасных выходов, возможности управляемой вентиляции, правильно составленного и своевременно введенного в действие плана ликвидации аварии. Снижение угрозы жизни может быть достигнуто уменьшением всех рассмотренных выше вероятностей, действенной профилактикой по обеспечению безопасности и эвакуации, застигнутых пожаром людей, а также сокращением количества трудящихся, занятых на подземных работах, за счет повышения производительности труда на базе комплексной механизации и автоматизации всех технологических процессов, вплоть до полного перехода на безлюдную выемку угля.

На основании приведенного анализа пожароопасности шахты можно прийти к выводу, что вероятность возникновения и развития пожара до того или иного уровня материального ущерба, а также количества и тяжести несчастных случаев определяющим образом зависит от количества применяемых в горных выработках и в расположенном в них оборудовании горючих материалов и степени их горючести, от возможности возникновения опасных для этих материалов тепловых импульсов.

Для общей вероятностной оценки пожароопасности отдельных объектов угольных шахт принята методика, предложенная В.Т. Хорольским с соавторами [7], разработанная на основании статистических данных. Эта методика может применяться для

ориентировочного определения наиболее пожароопасных объектов с целью проведения на них соответствующих профилактических мероприятий. Однако указанная методика, как и всякая другая, основанная на статистических данных без учета изменяющихся условий ведения технологического процесса во времени, дает возможность получать только ретроспективную, а не перспективную оценку пожароопасности, т.е. только для условий, с учетом которых эти данные получены.

Вместе с тем, изменение под воздействием научно-технического прогресса технологии угледобычи, внедрение новых синтетических материалов, высокопроизводительных горных машин и другого оборудования ощутимо изменяют пожароопасность угольных шахт, в некоторых случаях понижая, а в некоторых – повышая ее. Так, например, конвейерные ленты из трудновоспламеняющихся материалов на основе найрита или поливинилхлорида менее пожароопасны по сравнению с ранее применявшимися горючими лентами из резинотканевых материалов. Применение же гидрофицированного оборудования, в котором рабочей жидкостью служит горючее минеральное масло, оказалось весьма пожароопасным в связи с большими утечками масла.



# 1. РУДНИЧНЫЕ ПОЖАРЫ И ИХ РАССЛЕДОВАНИЕ

## *1.1. Понятие и природа рудничного пожара*

В горном деле рудничными пожарами называют не только пожары в обычном смысле этого слова, происходящие в рудничных выработках или на поверхности около входа в подземные выработки, но и вообще все те случаи, когда в воздухе выработок появляются газообразные продукты горения или тления каких-либо горючих материалов, если, конечно, эти продукты не явились следствием специальных производственных процессов, например взрывных работ, процессов подземной газификации углей и т.д.

Одна из характерных особенностей подземных пожаров заключается в том, что в большинстве случаев они, если только очаг горения не расположен вблизи вентиляционной струи, протекают при ограниченном притоке воздуха.

Поэтому по сравнению с пожарами на поверхности подземные пожары не всегда сопровождаются большим выделением дыма, а тем более пламени, и сам процесс горения иногда происходит значительно медленнее.

О пожаре, возникшем в выработанном, труднодоступном пространстве, иногда свидетельствует в начальной стадии только медленное, почти незаметное повышение температуры и влажности рудничного воздуха, сопровождающееся сравнительно небольшим изменением состава рудничной атмосферы, определяемым лишь методами лабораторного анализа или с помощью специальных приборов, при отсутствии каких-либо видимых или резко ощутимых признаков горения.

Рудничные пожары, внешне иногда менее заметные, чем пожары на поверхности, являются опасным врагом горнорабочих и причиняют

крупнейший материальный ущерб горной промышленности, выражающийся во многих миллионах гривен ежегодно.

В шахтных условиях приближение к очагу пожара для непосредственной борьбы с ним часто бывает затруднительно и сопряжено с риском для жизни. Еще большая опасность рудничных пожаров заключается в том, что образующиеся в процессе горения, удушающие и ядовитые газы, настигая рабочих даже в выработках, удаленных от очага пожара, могут быть причиной массовой гибели людей.

В шахтах горючими предметами являются: деревянная крепь горных выработок, конвейерные ленты, гибкие вентиляционные трубы, шахтные гибкие и бронированные кабели, электрическое и другое оборудование, особенно с масляным наполнением или смазочными материалами, наконец, природные горючие - уголь и некоторые породы.

## *1.2. Примеры рудничных пожаров*

Одним из первых, описанных в литературе, пожаров является происшедший 13 декабря 1902 г. пожар в Анненской шахте близ г. Юзовки в Донбассе, от которого погибли 61 человек из 89 находившихся в шахте.

Пожар вспыхнул в лебедочной камере уклона от обтирочной пакли; пакля валялась на почве камеры и загорелась из-за неосторожности рабочего, бросившего на пол непотушенный окурок.

По вине машиниста лебедки, поднявшегося на поверхность после возникновения пожара и только через полтора часа сообщившего администрации шахты о пожаре, последний принял крупные размеры.

В те годы специальных горноспасательных станций еще не было, и на весь Донбасс имелось лишь несколько рудничных респираторов, весьма

несовершенных с точки зрения современной техники. Следует отметить, что из 28 рабочих, оставшихся в живых, 13 спаслось от отравления пожарными газами, соорудив примитивную перемышку в тупике одного из штреков (западного), за которой и отсиживались в течение 56 часов.

Характерным пожаром от огневых работ является пожар, происшедший 31 января 1993 г. на шахте «Самарская» в производственном объединении «Павлоградуголь». В околоствольном дворе шахты на горизонте 250 м проводились работы по замене качающейся площадки шахтного ствола с применением сварочных работ. Мероприятия по обеспечению противопожарной защиты не были выполнены. Под место сварки не был положен металлический лист, посыпанный слоем песка, не было предотвращено попадание раскаленного металла и окалины на почву, на почве были пролиты индустриальные масла, вблизи находилось большое количество легковоспламеняющихся веществ, не был обеспечен надлежащий контроль со стороны главного механика, не был привлечен для контроля боец ГВГСС.

В результате расплавы раскаленного металла, попадавшие на почву с проливами индустриального масла, привели сначала к появлению локального очага, которым было вызвано дальнейшее воспламенение других веществ и материалов. Пострадало 13 работников шахты, в том числе трое - смертельно из-за отравления продуктами пожара.

Примером эндогенного пожара может быть пожар, происшедший 6 мая 1991г. в лаве участка №-90-2 пласта /1 «Мазур» - Запад горизонта 710-830 м шахты им. Ю.А. Гагарина производственного объединения «Артемуголь» в г. Горловке Донецкой области. Разрабатываемый пласт отнесен к III группе по пожароопасное™. В выработанном пространстве был оставлен уголь, масса которого, по заключению комиссии, расследовавшей аварию, достигала критической, достаточной для

самовозгорания величины. Не были приняты меры достаточные для обнаружения, предотвращения и локализации пожара в ранней стадии развития: не была произведена обработка оставленного угля антипирогенами и не было осуществлено надежное изолирование выработанного пространства. Самовоспламенение угля вызвало образование продуктов горения, в том числе и оксида углерода, которые под действием воздушной струи стали распространяться по выработкам, где оказались рабочие. Система оповещения о пожаре на шахте отсутствовала. Рабочие не приняли правильных мер по выходу из пожарного участка и подверглись воздействию вредных продуктов горения, в результате чего четыре человека смертельно отравились, и 9 человек получили более легкое отравление, но остались живы.

22 апреля 1991 г. в конвейерном квершлагге пласта А7 шахты им. М.И. Калинина производственного объединения «Донецкуголь» произошел пожар на приводной головке конвейера 1 ЛУ-100 №2, в результате которого два человека погибло от отравления продуктами горения и семь человек было травмировано с разной степенью тяжести.

Расследование обстоятельств пожара показало, что его причиной явилось воспламенение резинокросовой ленты 2РТЛО-1500 производства Курского завода, которой был оснащен ленточный конвейер 1 ЛУ-100 №2.

Лента эксплуатировалась более 10 лет и была сильно изношенной, на ней образовались оборванные полосы, вследствие чего ширина целой ленты составляла 760-840 мм вместо 1000 мм. Оборванные полосы при движении ленты намотались на обечайку и вал приводного барабана конвейера, что привело к остановке движения ленты при вращающемся приводном барабане. Вследствие интенсивного трения происходило истирание обрешиненных оборванных полос на вращающемся барабане, интенсивный нагрев в месте трения, приведший к воспламенению

указанных полос и в последствии всей ленты. Установка автоматического пожаротушения оказалась неисправной. По выработкам продукты горения распространялись согласно движению вентиляционной струи. Рабочие оказались в зоне действия продуктов горения и выходили не по ближайшим путям к свежей струе воздуха, а навстречу продуктам горения, показав незнание плана ликвидации аварии, вследствие чего и произошло отравление продуктами горения.

Еще более тяжелые последствия вызвал пожар, происшедший 22 июня 1991г. в западном полевом конвейерном штреке гор. 355м шахты «Южнодонбасская» №1 при воспламенении конвейерной ленты на барабане второго привода ленточного конвейера 2Л100У №2, в результате которого погибли 32 человека и 6 человек были травмированы с разной степенью тяжести. Эта авария рассмотрена в разделе, посвященном предотвращению пожаров от конвейерных лент.

Отметим, что пожар представляет не только грозную опасность для людей, работающих в шахте, но и приводит к большому материально-техническому и экономическому ущербу.

В результате пожара шахта, как правило, выводится из строя на длительное время, что приводит к частичному или полному прекращению добычи угля. Некоторые пожары не удается потушить оперативными методами и приходится затапливать горные выработки, а то и целое крыло шахты.

### *1.3. Опасность рудничных пожаров*

Можно было бы привести еще ряд примеров, но и рассмотренные позволяют уяснить ту опасность, которую представляют для жизни горнорабочих рудничные пожары. Основное в этой опасности - распространение по подземным выработкам пожарных газов и дыма,

которые настигают и отравляют рабочих, удаленных от свежей вентиляционной струи.

По статистическим данным из общего числа жертв рудничных пожаров приблизительно 85% погибли от отравления газообразными продуктами горения. В настоящее время в угольной промышленности уделяется большое внимание вопросам безопасности горнорабочих. Организация широкой сети горноспасательных команд, вооруженных наиболее современной и совершенной техникой, тщательная разработка и материальное обеспечение рудничных планов ликвидации аварий, предусматривающих устройство стационарных и импровизированных подземных камер - убежищ для спасения рабочих, наконец, массовое снабжение горнорабочих на шахтах, опасных по газу и пыли, самоспасателями для защиты от отравления пожарными газами - все эти мероприятия в значительной степени устраняют опасность отравления для рабочих, застигнутых в шахте пожаром.

Помимо угрозы здоровью и жизни горнорабочих, рудничные пожары причиняют весьма большой материальный ущерб. К экономическим потерям от пожаров относятся:

1. Потери ископаемого в пожарных участках и противопожарных целиках.
2. Непосредственные затраты на борьбу с пожарами и, в частности, стоимость тушения.
3. Расходы на восстановление выработок после ликвидации пожаров.
4. Так называемые косвенные потери, труднее поддающиеся учету, а именно, убытки от уменьшения добычи вследствие стесненного фронта работы и перебоев в эксплуатации, потери от снижения производительности гряда в более трудных условиях разработки месторождений при наличии в руднике пожара, длительной консервации ископаемого в изолированных пожарных участках, ухудшения качества

его за счет частичного выгорания ценных компонентов, увеличения зольности ископаемого и т.д.

#### 5. Компенсация за несчастные случаи, вызванные пожаром.

Основной материальный ущерб, причиняемый рудничными пожарами, заключается в больших потерях полезного ископаемого. Огромны общие потери от пожара в денежном исчислении, в некоторых случаях достигающие десятков миллионов гривен. Непоправимым ущербом является гибель рабочих или нанесение им тяжелого увечья.

Чтобы успешно бороться с пожарами, требуются не только специальные знания и умение применять рациональные методы ликвидации возникших пожаров, но не менее важно овладение способами своевременного распознавания начинающихся рудничных пожаров, равно как знание противопожарной профилактики, т.е. способов защиты предприятия от самой возможности возникновения пожара мерами предупредительного порядка.

#### *1.4. Классификация рудничных пожаров*

Не было двух рудничных пожаров, которые были бы тождественны во всех отношениях. Сложность тушения пожаров, помимо прочего, заключается в том, что каждому из них присущи индивидуальные особенности, зависящие от местных условий возникновения и протекания. Однако обобщение пожаров по основным признакам имеет практическое значение. Облегчая изучение природы пожаров, такое обобщение способствует более быстрой ориентации при выборе надлежащих способов борьбы в критический момент обнаружения загорания в руднике.

По различным основным признакам рудничные пожары можно подразделить на следующие категории:

## А. По объектам пожаров

1. Горение материалов и оборудования (крепи, горючих и смазочных материалов, оборудования и т.д.).

2. Горение ископаемого (углей, углистых пород, сернистых включений):

а) в разрыхленном состоянии (пыль, мелочь, отбитая порода в кусках, штабели, отвалы и т.д.);

б) в целиках.

## Б. По месту пожара

1. Рудничные пожары, возникающие на поверхности (в надшахтных зданиях, карьерах, штабелях, отвалах и т.д.).

2. Пожары, возникающие в подземных выработках:

а) в действующих;

б) в старых выработках и в выработанных очистных пространствах.

## В. По степени доступности очага и трудности ликвидации его

1. Наружные и сконцентрированные пожары.

2. Глубинные и сильно распространившиеся пожары.

## Г. По причинам возникновения

1. Пожары от самовозгорания полезного ископаемого или вмещающих пород (эндогенные).

2. От разных внешних причин (экзогенные).

Все шахты содержат в большем или меньшем количестве различный горючий материал, который от небрежности или от неправильного ведения работ может явиться объектом пожара.

Горение даже сравнительно небольших количеств какого-либо материала (дерева, угля и т.д.) в условиях подземных выработок может причинить смерть большому числу людей и крупные потери.



Особо опасны и трудно ликвидируются пожары при эксплуатации ископаемых, обладающих свойством при известных условиях принимать участие в пожаре в качестве горючего.

К таким ископаемым относятся угли, углистые сланцы, торф, многосернистые рудные включения. Некоторые из таких ископаемых загораются не только от внешних причин (соприкосновение с открытым огнем, с горящей крепью и т.д.), но вследствие так называемого самовозгорания от местной аккумуляции тепла, происходящей в основном за счет интенсивного окисления ископаемого кислородом воздуха под влиянием совместного действия ряда факторов, о которых сказано ниже.

В практике неоднократно отмечены случаи рудничных пожаров, первопричиной которых служила теплота взрывчатого разложения заряда ВВ. В некоторых угольных шахтах пожар возникал вследствие того, что от взрыва зарядов в шпурах воспламенялись рудничный газ и угольная пыль.

Кроме перечисленных горючих материалов, таковым является изоляция электропроводов и электрооборудования, обеспечить негорючесть которой не представляется возможным. Все виды изоляции при определенных условиях и температуре способны гореть. Резиновая изоляция чувствительна к термическим изменениям, в особенности с нагреву, вследствие чего допускает наименьшую из всех кабельных диэлектриков рабочую температуру (порядка 60 - 65° С).

Загораясь от короткого замыкания или других причин, электроизоляция часто служила объектом а агентом- распространителем пожара в выработках. Большой объем горючих материалов содержится в конвейерных лентах, поэтому пожар на конвейерной ленте представляет особо грозную опасность тем более, что лента является протяженным объектом, способным передавать горение на значительное расстояние и выделять большое количество вредных веществ.

Значительную опасность представляет горение гибких вентиляционных труб, способных к горению при поджигании внешним источником.

Штабели угля и колчеданистых руд, отвалы пустых пород, с примесью различных пиррофоров (углистых сланцев, сульфидов), поросли травы, кустарников, сухого леса, лесные и фуражные склады, неогнестойкие постройки и т.п. горючие материалы и сооружения на поверхности также являлись неоднократно объектами горения, от которых пожар или ядовитые газы распространялись в подземные выработки.

Как показывает практика, без соблюдения необходимых мер предосторожности ни один участок шахты не может считаться совершенно безопасным от угрозы пожара.

Практически важно знать, в каких местах чаще всего происходят пожары, чтобы держать эти участки под особо тщательным наблюдением.

При разработке углей, в особенности мощных самовозгорающихся пластов, преобладающее количество пожаров (до 70%) начинается:

1) в очистных работах, в особенности в старых очистных пространствах, если там остаются частично невынутые и раздавленные целики угля и угольная мелочь;

2) в предохранительных угольных целиках, оставляемых возле штреков, машинных камер, вентиляционных сбоек, печей и т.д.

Чаще всего эти пожары происходят в тех случаях, когда целики, выдерживая большое давление, имеют в то же время недостаточные размеры и при продолжительном стоянии дают трещины и постепенно раздавливаются.

Значительное число пожаров происходит: в конвейерных выработках при загорании расположенных в них ленточных конвейеров; в электромашинных камерах, особенно в подстанциях и распределительных пунктах,

где установлены аппараты с масляным заполнением, а также на передвижных компрессорных установках, бункерах и других объектах, где проводились работы с применением сварки или резки металлических конструкций.

Большой процент пожаров в забоях отработанных очистных пространств в угольных и колчеданных рудниках требует особо тщательного соблюдения всех противопожарных правил ведения горных работ и непрерывного наблюдения для своевременного распознавания признаков начинающегося пожара.

### *1.5. Причины рудничных пожаров*

Изучая причины рудничных пожаров, можно установить, что они находятся в определенной зависимости от геологических условий залегания и химико-минералогического состава ископаемых, от методов ведения горных работ и рода применяемого при разработке оборудования. Однако полное выявление этих причин является весьма трудной задачей, и пожары, которых статистика не указывает, составляют довольно большую группу, причем большинство их, очевидно, является следствием открытого огня в выработках, дефектов электрооборудования и, наконец, самовозгорания.

Можно подразделить пожары в угольных шахтах по причинам возникновения на четыре основные группы:

- 1) от самовозгорания угля;
- 2) в результате воспламенения газов (при взрывных работах или от других причин);
- 3) от неисправности электрооборудования (кабелей, коммутаторов, трансформаторов и т.д.);

4) от чрезмерного механического трения в механизмах и машинах, работающих в подземных выработках.

Самовозгорание угля может произойти лишь при определенном притоке воздуха, который, например, для некоторых шахт составляет от 0,1 до 0,9 м<sup>3</sup>/мин на 1 м<sup>2</sup> площади сечения выработанного пространства. При утечках менее 0,1 м<sup>3</sup>/(мин/м<sup>2</sup>) самовозгорание не происходит вследствие снижения содержания кислорода по пути его фильтрации до пожаробезопасных значений и рассеивания тепла в окружающую среду, а при утечках более 0,9 м<sup>3</sup>/(мин·м<sup>2</sup>) - из-за конвекции тепла. Наиболее велика вероятность самовозгорания угля при утечках 0,3-0,4 м<sup>3</sup>/(мин/м<sup>2</sup>).

При снижении содержания кислорода в рудничной атмосфере до 12-15% стадия интенсивного окисления не переходит в возгорание. На начальной стадии развития эндогенного пожара при снижении содержания кислорода в рудничной атмосфере до 8-10% процесс не переходит в стадию интенсивного окисления.

На газообильных шахтах вследствие резкого падения концентрации кислорода при фильтрации воздуха через выработанное пространство с большим содержанием метана очаги самовозгорания возникают вблизи мест поступления вентиляционной струи.

Эндогенные пожары происходят в выработанном пространстве, в целиках, прилегающих к горным выработкам, и в горных выработках. Наибольшее число пожаров возникает в выработанном пространстве. Большую опасность в отношении пожаров представляют целики угля, оставляемые в выработанном пространстве, особенно в местах геологических нарушений.

Пожары в целиках, прилегающих к горным выработкам, чаще всего возникают при разработке пологих и наклонных пластов при малых размерах целиков и больших перепадах давления воздуха.

Пожары в горных выработках возникают в местах скопления разрыхленных масс угля (под крепью, в печах и просеках при отжиме угля и т.п.).

Опасность возникновения пожара зависит от способа вскрытия и подготовки выемочных полей, системы разработки и геологических условий залегания пласта. Чаще пожары возникают при способах вскрытия и подготовки, выемочных полей, которые не позволяют надежно изолировать выработанное пространство. Наиболее пожароопасными являются способы вскрытия центрально расположенными вертикальными или наклонными стволами при прямом порядке отработки шахтных полей, а также наклонными стволами, проходимыми по пластам самовозгорающихся углей. При таких способах вскрытия пожары могут возникнуть в околоствольных предохранительных целиках и явиться причиной полного выхода из строя шахты. Весьма пожароопасной является пластовая подготовка выемочных полей.

Величина и продолжительность утечек (подсосов) воздуха (а следовательно, и пожароопасность) зависят от схемы и способа проветривания, депрессии, аэродинамического сопротивления выработанного пространства и направления очистных работ на крыле и выемочном участке. Увеличение общешахтной депрессии является одной из главных причин возникновения и рецидивов пожаров от самовозгорания угля.

Непосредственные причины экзогенных пожаров: короткое замыкание токоведущих жил в бронированных и гибких кабелях; короткое замыкание контактных проводов; загорание электровозных аккумуляторных батарей; короткое замыкание в обмотках электродвигателей; загорание в пусковом электрооборудовании и контролирующих аппаратах и приспособлениях, возникающее из-за

короткого замыкания или нагрева; трение конвейерных лент; трение канатов о шпалы и элементы крепи; трение исполнительных органов выемочных машин и буровых механизмов о твердые породы (песчаник, колчедан и т.д.); перегрев масла в маслостанциях и гидросистемах передвижных механизированных комплексов и гурбомуфт на конвейерах и других механизмах; пламя, образующееся при электросварочных работах и газовой резке и сварке; ведение взрывных работ; применение открытого огня.

Короткое замыкание в гибких и бронированных кабелях возникает из-за загробления или неисправности максимальной тепловой защиты, эксплуатации кабелей с поврежденной оболочкой, повреждения кабелей обрушившейся породой, исполнительными органами выемочных машин или подвижным составом. Загорание оболочек кабелей может вызываться неправильной разделкой или неправильным подсоединением кабелей к электрооборудованию, перегрузками кабелей вследствие неправильно выбранного сечения, эксплуатацией кабеля сверхнормативной протяженности.

Замыкание контактных проводов на элементы крепи может происходить из-за отсутствия оттяжек, плохого их выполнения, неисправности или отсутствия пряжковых изоляторов, а также вследствие неправильного подсоединения к сети отходящих проводов, по которым подается ток.

Загорание элементов электровозных аккумуляторных батарей возникает вследствие снижения сопротивления изоляции батарей из-за отсутствия или несвоевременного контроля; повреждения батарей из-за неудовлетворительного состояния откаточных выработок; эксплуатации батарей при неисправных блокировочных устройствах и средствах защиты на электровозах.

Короткое замыкание в обмотках электродвигателей может возникнуть при перегрузке электродвигателей, из-за уменьшения сопротивления изоляции обмоток или из-за попадания в обмотки воды или масла.

В обмотках трансформатора, распределительных и пусковых агрегатов короткие замыкания возникают из-за недостаточного количества масла или применения масла, не соответствующего ГОСТу, несвоевременной замены масла, эксплуатации при загроможденной защите.

Трение конвейерных лент о ролики, роликостропы, приводные и натяжные концевые головки, а также элементы крепи выработок является следствием неправильной установки и неудовлетворительной центровки стоев и эксплуатации конвейеров при неисправной аппаратуре автоматического контроля и управления или отсутствия автоматической тепловой защиты.

Трение канатов о шпалы или элементы крепи возможно при отсутствии или неисправности отводящих и направляющих роликов или при неудовлетворительном состоянии горных выработок.

Воспламенение масла в турбомуфтах является следствием перегрузки или заштыбовки конвейеров, заклинивания цепи конвейеров, технической неисправности в конструкциях турбомуфт, маслостанций и передвижных крепей, эксплуатации при недостаточном количестве масла или применении масла, не соответствующего ГОСТу.

Пожары при ведении огневых работ возникают при наличии у мест сварки легковоспламеняющихся материалов, вследствие подключения сварочных аппаратов к контактному проводу, ведения огневых работ с использованием неисправных или запрещенных аппаратов; сопутствующими причинами являются: отсутствие контроля за концентрацией метана, а также за состоянием выработок после окончания

работ, необеспеченность рабочего места средствами первичного пожаротушения.

При взрывных работах пожары возникают из-за несоблюдения расстояния между шпурами, уменьшения длины шпуров или некачественного выполнения забойки, что приводит к выгоранию ВВ; а также из-за взрывания накладных зарядов или нарушения очередности взрывания и др.

Появление открытого огня может быть связано с курением в горных выработках и надшахтных зданиях; высыпанием горящего шлака вблизи стволов, шурфов и вентиляционных сбоек; разведением костров вблизи устьев воздухоподающих стволов, шурфов и скважин; применением запрещенных или неисправных нагревательных приборов.

### *1.6. Горение в рудничных условиях*

Горение, которое мы наблюдаем повсеместно, с химической точки зрения представляет реакцию окисления кислородом, сопровождающуюся выделением тепла и света. Вообще говоря, горение может происходить и в бескислородной атмосфере при экзотермических химических реакциях, связанных с большим выделением тепла (воспламенение фосфора в атмосфере брома, хлора и фтора, горение меди в парах серы, сурьмы в хлоре и т.д.).

Горение твердых тел (углей, сернистых руд) представляет реакцию, протекающую в неоднородной или так называемой гетерогенной системе, характеризующуюся наличием нескольких фаз; т.е. таких составных частей системы, которые отделены одна от другой поверхностями раздела (твердое тело - газ).

Горение и взрывы газов (например, горение и взрыв метана) представляют реакции в однородной гомогенной системе.



Реакции в системах гомогенных и гетерогенных различаются в основном скоростью протекания.

Реакции в гетерогенной системе (например, горение угля) распространяются только на поверхностные молекулы.

Скорость реакции зависит от ряда вторичных факторов (скорости удаления продуктов реакции, химического состава этих продуктов, их концентрации и т.д.). Например, углекислый газ, образующийся при горении угля, скопляясь над горящим углем, замедляет или вовсе прекращает горение, так как закрывается доступ кислорода к поверхности угля. Наоборот, реакции гомогенные могут идти весьма быстро, переходя в газовых смесях (при надлежащих соотношениях) во взрыв.

Реакции окисления твердых тел, особенно в первых стадиях, предшествующих горению, тесно связаны с явлениями сорбции.

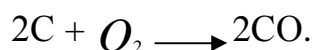
Сорбцией называют явление поглощения твердым телом (или жидкостью) вещества из внешней по отношению к нему среды, причем количество поглощаемого вещества в общем случае непрерывно изменяется при непрерывном изменении внешних условий (температуры, давления и т.п.).

Частным случаем сорбции, когда поглощаемые вещества концентрируются только на поверхностях раздела фаз без образования химических соединений, является адсорбция.

В сорбционных явлениях иногда рассматривают процесс абсорбции, характеризующейся более значительным проникновением поглощаемого вещества вглубь массы поглотителя. Однако резкой границы между названными видами сорбционных явлений установить нельзя, так как часто адсорбция сопровождается абсорбцией и даже образованием химических соединений, или хемосорбцией.

Различают следующие виды окислительных реакций:

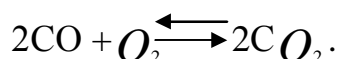
1. Окисление до низшего оксида. К этому виду окисления относится непосредственное соединение простого вещества с кислородом, например:



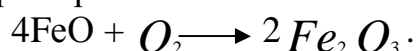
Большинство реакций этого рода обратимо. Степень обратимости определяется величиной тепловой энергии, выделяющейся при реакции, и соотношением веществ, участвующих в реакции, согласно закону действия масс.

2. Окисление низшего оксида до высшего.

Этот процесс иногда носит название аддиционного окисления, т.е. окисления с присоединением кислорода к бедному кислородом оксиду, например:



Таков также ряд реакций окисления закисных соединений металлов, например:



Реакции этого вида окисления все обратимы. Строго говоря, процесс обычного горения, т.е. сопровождающийся воспламенением, есть окисление до такой стадии, при которой экзотермические реакции достигли скорости, превосходящей противодействующие отрицательные скорости (потери тепла через теплопроводность, излучение и др.). С этого момента наступает значительное ускорение реакции, которое нельзя задержать вплоть до завершения последней.

3. Окисление типа обжига. При высоких температурах некоторые сложные вещества распадаются на составные части, которые вступают в соединения с кислородом независимо.

Характерным примером реакций этого рода может служить окислительный обжиг сульфидов. Например, окисление пирита:



4. Сопряженное окисление. Реакциями сопряженного окисления называются окислительные процессы, протекающие только одновременно с другими окислительными процессами.

Частным случаем сопряженного окисления является процесс самоокисления или автооксидации.

Под самоокислением понимают явление повышенной активности кислорода воздуха при окислительных процессах в результате действия катализатора.

Эффект реакций сопряженного окисления объясняется тем, что при реакции образуются промежуточные оксиды высшей валентности, обладающие сильными окислительными свойствами.

К процессам автооксидационного горения до известной степени относятся явления самовозгорания ископаемых углей, сернистых руд, древесины крепезного леса в выработках и др.

Реакции горения протекают вообще столь бурно и энергично, количество молекул и атомов, вступающих во взаимодействие при обычных давлениях, столь велико, что расчленив аналитически данный процесс до последнего времени казалось весьма трудной задачей, поскольку необходимо иметь в виду, что в  $1 \text{ см}^3$  газа при нормальном давлении и  $0^\circ\text{C}$  содержится количество молекул порядка  $27 \cdot 10^{18}$ .

Уменьшая давление газа, т.е. разрежая его, можно число молекул газа, вступающих в реакцию в единицу времени, сделать сколько угодно малым, и придать реакции течение более медленное и удобное для наблюдения.

### 1.7. Виды горения и условия воспламенения

Различают: 1) горение с выделением пламени и 2) беспламенное горение.

Пламенное горение обычно обусловлено горением паров и газов, выделяющихся из горючего вещества под влиянием теплоты воспламенения.

Степень пламенности (длина пламени) зависит от количества летучих, от скорости их выделения и притока воздуха. Чем ниже содержание летучих, тем пламя короче, и наоборот.

Чистый углерод и горючее, близкое к нему по составу (антрацит, кокс, древесный уголь), горят почти без пламени, так как в этом случае горение происходит непосредственно на поверхности твердых частиц.

Синее пламя, которое можно наблюдать, например, при горении древесного угля, объясняется воспламенением оксида углерода, образующегося при соприкосновении углекислого газа со слоем раскаленного угля по реакции:



Жидкое и газообразное топливо вследствие сильно развитой поверхности окисления горит со значительным образованием пламени. Пламя таких газов, в составе которых отсутствуют углеводороды, обычно не обнаруживает никакого свечения, при наличии же углеводородов пламя получается светящимся и даже коптящим, особенно при неполном сгорании; объясняется это способностью углеводородов легко разлагаться при нагревании на более простые углеводороды и элементарный углерод, причем частицы раскаленного углерода и становятся центрами свечения.

Неполным называется такое горение, в результате которого получаются продукты, способные к дальнейшему горению (оксид

углерода, уголь, сажа и т.п.). Полным называется горение с образованием соединений предельного окисления: инертных, негорючих веществ (углекислого газа, паров воды). При повышении температуры и увеличении притока воздуха неполное горение может перейти в полное с пламенем.

Светящееся пламя имеет температуру, более низкую, чем бесцветное.

В случае воспламенения смеси газов с воздухом пламенное горение происходит мгновенно и может сопровождаться взрывом. Взрыв - это так же, как и обычное горение, - реакция окисления органических и минеральных веществ, но столь быстро протекающая, что скорость процесса измеряется тысячными долями секунды.

Одним из главных условий взрыва является, возможно, полное смешение горючего с кислородом. Кислород при этом может находиться в газообразном состоянии (взрывы метана, оксида углерода и других газов) или присутствовать в веществах, легко его отдающих.

Таковыми веществами, например, в аммонитах, является аммиачная селитра  $NH_4NO_3$ , в различных сортах динамита - нитроглицерин  $C_3H_5(NO_2)_3$  и т.д.

Химические процессы, которые возникают под влиянием жизнедеятельности микроорганизмов внутри массы органического вещества, без интенсивного выделения тепла, известны под названием гниения.

Эти процессы разложения обусловлены расщеплением сложных молекул на более простые. Промежуточные продукты горения еще достаточно не изучены, но в конечном результате образуются те же продукты окисления ( $CO_2$ ,  $H_2O$ ) и выделяется в рассеянном виде то же количество теплоты, как и при горении.

Обычно повышение температуры при гниении происходит очень медленно. Однако при недостаточной внешней отдаче тепла гниющими веществами (например, в большой куче) теплота постепенно аккумулируется, процесс принимает характер обугливания, масса раскаляется, и может произойти самовоспламенение с выделением пламени.

К горению без пламени и света относятся также все явления самовозгорания таких горных пород, как ископаемые угли, углистые сланцы, сернистые руды и др.

Воспламенение горючих веществ может быть вызвано:

- 1) непосредственным зажиганием горящими или раскаленными телами;
- 2) слабым, но продолжительным нагреванием, теплопередачей;
- 3) саморазогреванием;
- 4) химическими реакциями (в том числе взрывом);
- 5) электрической искрой;
- 6) механической энергией (трением, толчком, давлением, ударом, падением);
- 7) действием лучистой энергии (солнечными лучами и др.).

Для воспламенения тел необходимо наличие:

- 1) способного гореть вещества (объект горения);
- 2) вещества, поддерживающего горение (кислород, воздух);
- 3) определенная температура. Поэтому горение можно ликвидировать прекращением доступа кислорода к объекту пожара или охлаждением последнего до определенного предела, или сочетанием этих двух способов.

По характеру процесса горения различают:

- 1) вспышку;
- 2) воспламенение;

3) самовоспламенение и

4) самовозгорание.

Вспышка - загорание от поднесенною пламени паров и газов, выделяющихся при незначительном нагреве вещества; загоревшиеся пары быстро затухают, так как количество теплоты еще недостаточно для развития реакции.

Та низкая температура, при которой происходит вспышка, носит название температуры или точки вспышки. Чаще всего понятие вспышка применяется по отношению к жидкостям, хотя и твердые тела при нагревании также выделяют пары или газы.

Чем ниже точка вспышки, тем легче происходит воспламенение горючего.

В публикациях можно встретить деление веществ на четыре категории по величине температуры вспышки.

Воспламенение и самовоспламенение - это загорание вещества от внешнего источника тепла, причем развитие теплоты превышает потери ее; отсюда начинается бурное течение реакции с автоматическим повышением температуры.

Тело продолжает гореть после того, как было зажжено; теплота горения паров и газов, выделившихся из вещества в начале реакции, вызывает непрерывное их образование и воспламенение до тех пор, пока не сгорит все вещество или реакция не будет прервана от недостатка кислорода или искусственным охлаждением тела ниже температуры воспламенения.

Таблица 1.1.

## Классификация строительных материалов по степени огнеопасности

Категория	Температура вспышки °С	Степень огнеопасности
I	Ниже 10	Крайне опасны (например эфир, бензин)
II	10-25	Опасны
III	25-60	Отчасти опасны, т.е. при непринятии обычных мер предосторожности при транспорте, хранении и обработке их
IV	60° и выше	Опасны только в случае, если приходят в соприкосновение с другими горючими веществами, долгое время нагреваются или быстро доводятся до высокой температуры

Температура или точка воспламенения - это та минимальная температура, при которой вещество способно выделять пары и газы в количестве, достаточном для продолжения горения после их воспламенения без дальнейшего добавления тепла извне.

Под термином воспламенение в узком смысле подразумевают только тот случай, когда оно вызывается непосредственным поднесением к веществу свободного пламени или источника высокой температуры.

Воспламенение под влиянием какого-либо внешнего источника, но без соприкосновения вещества с открытым пламенем (например, нагреванием в бане) носит название самовоспламенения.

Соответственное содержание получают, при таком разграничении понятий, термины температура воспламенения и температура самовоспламенения.

Эти температуры - величины, весьма относительные, изменяющиеся в широких пределах в зависимости не только от химического состава вещества, но и от физических свойств его (теплопроводности, степени дисперсности и др.), а также от условий опыта (от характера и количества притока тепла, количества вещества, объема и материала сосуда и пр.).



Чем ниже температура воспламенения, тем больше огнеопасность вещества. Сухость, пористость, тонкое измельчение, малая теплопроводность - факторы, понижающие температуру воспламенения и увеличивающие степень огнеопасности.

Определение температуры самовоспламенения, в зависимости от физического состояния испытуемых веществ, производится различными методами.

Для газов один из способов состоит в том, что смесь газа с кислородом вводят в металлический цилиндр с поршнем; резким движением поршня производят быстрое сжатие газа, чтобы выделяющаяся при этом теплота не успела перейти от газа к окружающей среде (приближение к адиабатическим условиям). Момент самовоспламенения смеси узнается по резкому толчку поршня в обратном направлении.

Зная начальный и конечный объемы газа, вычисляют соответствующую сжатую температуру, которую и принимают за температуру самовоспламенения смеси.

Определенная этим способом температура самовоспламенения некоторых встречающихся в шахтах газов приведена в табл. 1.2.

Могут быть и другие методы определения температуры самовоспламенения, вследствие чего могут быть и другие пределы температуры самовоспламенения.

Температура самовоспламенения - один из важнейших параметров, характеризующих способность вещества к самовозгоранию. Из табл. 1.2 следует, что из указанных газов наибольшей способностью к самовоспламенению обладает сероводород.

Таблица 1.2.

## Температура самовоспламенения некоторых газов

Газ, смешанный с эквивалентным количеством кислорода	Температура самовоспламенения, °С
Водород H <sub>2</sub>	530 - 606
Метан CH <sub>4</sub>	606 - 650
Этан C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	530 - 606
Этилен C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	530 - 606
Оксид углерода CO	650-730
Сероводород H <sub>2</sub> S	250 - 270

Под самовозгоранием подразумевается воспламенение вещества, происходящее исключительно под влиянием физико-химических процессов, развивающихся самопроизвольно внутри самого вещества. Тела, непосредственно самовозгорающиеся на воздухе, называются пирофорными.

Все вещества, склонные к самовозгоранию, обладают повышенной способностью к сорбции кислорода воздуха.

Адсорбция кислорода сопровождается обычно незначительным выделением теплоты, но последующее развитие процессов с окислением вещества (хемосорбция) может привести к значительному выделению тепла.

При известных условиях (близких к адиабатическим) местное накопление (аккумулирование) тепла может превысить его рассеивание, и вещество, непрерывно нагреваясь, вспыхнет при температуре самовоспламенения.

Факторами, интенсифицирующими самовозгорание, являются:

1. Степень дисперсности горючего. При более развитой поверхности сорбция кислорода и окисление происходят энергичнее (пропорционально квадрату измельчения).
2. Легкая воспламеняемость самого материала.

3. Наличие условий, способствующих местной концентрации тепла.
4. Присутствие катализаторов, ускоряющих процесс самовозгорания.

Известны пожары от самовозгорания промасленного обтирочного материала.

В промасленной пакле, тряпке и т.п. вследствие весьма гонкого распределения жировых веществ поглощение кислорода воздуха и сгущение его в порах происходят особенно сильно. В результате окисления и связанного с ним выделения тепла происходит побурение и обугливание жировых веществ и в дальнейшем - возгорание волокнистых веществ.

Эти явления происходят особенно интенсивно, если волокнистые вещества плотно сложены, находятся в тесном или теплом хранилище или ранее подвергались нагреванию. Поэтому развешивание промасленной спецодежды, тряпок на печах, паропроводах и т.п. сопряжено с опасностью самовозгорания этих материалов.

Древесина (опилки, стружки, щепы) также способна самовозгораться. Смолистость дерева увеличивает эту опасность. Если древесину подвергнуть слабому, но продолжительному нагреванию, то в ней происходят следующие явления:

1) в первой стадии (при 110°C) - высушивание с выделением воды, а иногда и летучих, имеющих запах;

2) при 110-150°C - пожелтение дерева и более сильное выделение летучих;

3) при 150-230°C (стадия побурения) наиболее легко воспламеняемые составные вещества дерева начинают обугливаться, и древесина получает коричневый опенок;

4) при 230-270°C - образование так называемого красного или пирофорного угля, легко тлеющего и обладающего большой адсорбционной способностью;

5) при 270-300°C - обугливание и образование обыкновенного черного древесного угля;

б) при 300-600°C - воспламенение образовавшегося угля.

Наиболее опасным в отношении самовозгорания является пирофорный уголь, который, жадно поглощая кислород воздуха, концентрирует его в своих порах. При повышении температуры интенсивность реакции возрастает, уголь начинает тлеть и может самовозгораться при температуре уже 260°C, т.е. на 100°C ниже, чем для модификации обыкновенного угля.

Деревянная стойка в шахте, постоянно подвергающаяся действию теплоты, например, вследствие процессов окисления в скопившейся возле нее массе угольной или сульфидной пыли и т.д., также может образовать пирофорный уголь.

При разработке колчеданных месторождений, богатых серой, пожары от самовозгорания могут при некоторых условиях возникать в результате обугливания или гидролиза древесины крепежного леса кислыми рудничными водами. Однако в угольных шахтах опасность этого невелика, т.к. колчеданистые соединения встречаются в угольных пластах и породах в виде небольших включений.

### *1.8. Эндогенные пожары и их особенности*

Рудничные пожары, возникающие от самовозгорания полезных ископаемых (углей, углистых и сернистых пород) носят название эндогенных пожаров.

Свойство самовозгорания в той или иной мере присуще почти всем ископаемым углям, поэтому разделение угольных пластов на самовозгорающиеся и несамовозгорающиеся, является весьма условным.

Самовозгоранию в наименьшей степени подвержены угли, содержащие минимальное количество летучих, - антрациты, но уже тощие угли могут при некоторых условиях самовозгораться энергично.

Склонность углей или колчеданных руд к самовозгоранию является важным, но не единственным фактором возникновения эндогенных рудничных пожаров.

Не менее важное значение имеет система работ и вентиляционный режим. При правильных системах разработки, при которых потери полезного ископаемого и раздавливание целиков незначительны, опасность самовозгорания может быть значительно ослаблена. Если же наряду с этим создан и поддерживается надлежащий вентиляционный режим, при котором явления прососа воздуха через толщи углей или колчеданных руд и выработанные пространства ослаблены и создались условия компенсации теплорассеивания и образования тепла при окислении, то опасность самовозгорания уменьшается еще в большей степени.

Наоборот, даже мало склонные от природы к самовозгоранию пласты угля и пород, при применении неправильной системы работ и неправильном вентиляционном режиме могут загореться.

Эндогенные пожары являются, таким образом, следствием трех причин:

- 1) склонности угля или руды к самовозгоранию;
- 2) неправильной системы работ и
- 3) неправильного вентиляционного режима.

Взаимодействие указанных трех факторов может или вызвать пожар, или, наоборот, его потушить.

Процесс горения угля, обусловленный взаимодействием кислорода воздуха и угля, чисто химический. Поэтому при изучении процессов самовозгорания вопросу влияния кислорода уделялось и уделяется

особенно много внимания, но в отношении первоначального источника накопления тепла мнения значительно расходятся. Из многочисленных предлагавшихся теорий самовозгорания пластов угля и углистых пород наиболее широким признанием в настоящее время пользуется теория, объясняющая возникновение и развитие процесса самонагрева ископаемого угля поглощением (сорбцией) углем кислорода и последующим окислением вещества угля с выделением тепла. Поэтому подобные теории получили название теорий поглощения кислорода угольным веществом или теории комплекса кислород - уголь.

Уголь, поглощая кислород из воздуха, образует неустойчивый комплекс уголь - кислород. Этот комплекс представляет неустойчивое соединение, но только часть кислорода может быть обратно выделена из него в неизменном виде при нагревании в вакууме.

Остальная часть кислорода оказывается в химической связи с углеродом и водородом, а возможно и с другими компонентами угля.

В процессе самовозгорания угля можно различать две стадии.

Первая стадия - начальная - поглощение углем кислорода с образованием мало устойчивых кислородных соединений, преобладающих при низких температурах; эта стадия характеризуется малым выделением тепла и увеличением угля в весе соответственно количеству поглощенного кислорода.

Вторая стадия - расщепление неустойчивых кислородных соединений, образовавшихся в первой стадии с получением конечных продуктов окисления угля - углекислоты, оксида углерода, воды, углеводородов и др. В течение второй стадии выделяется 60 -70 % всего тепла, получающегося при окислении.

Начало первой стадии уже можно наблюдать при температурах порядка 20-25°C. В интервале примерно 25-180°C обе стадии протекают одновременно. Если выделяемая теплота превосходит то количество ее,

которое рассеивается в окружающую среду, то температура угля может повыситься до предела, при котором произойдет его воспламенение.

Для различных углей температура самовозгорания различна, изменяясь в зависимости от различных условий в пределах 300-360°C. Так как самовозгорание возникает лишь при местной концентрации выделяющегося тепла, то территориально оно всегда ограничено (так называемые очаги самовозгорания).

Многочисленные факторы, совместно влияющие на возникновение и развитие самонагрева угля и пород в рудничных условиях, можно подразделить по их характеру на:

- 1) химические;
- 2) физические;
- 3) петрографические;
- 4) геологические и
- 5) горнотехнические.

Установлено, что одной из главных причин самонагрева угля является его способность поглощать кислород из воздуха. Эта способность находится в известной связи с химическим составом угля.

К физическим факторам, влияющим на большую или меньшую способность угля к самовозгоранию, относятся:

- 1) Степень измельчения угля (крупность кусков);
- 2) хрупкость угля;
- 3) влажность;
- 4) температура;
- 5) приток кислорода;
- 6) окклюдированные в угле газы.

Степень измельчения. Этот фактор оказывает весьма большое влияние на интенсивность процессов окисления.

Мелкоизмельченный уголь окисляется значительно энергичнее, чем уголь в крупных кусках.

Трещиноватые, раздробленные давлением целики самоокисляются в несколько раз быстрее, чем поверхность плотного массивного угля. Этим объясняется факт, что в массиве угля свежего, подвигающегося вперед забоя случаи самовозгорания неизвестны.

Большая хрупкость угля способствует процессу самонагревания.

Влажность угля может способствовать процессу и задерживать процесс самонагревания.

С повышением температуры уголь окисляется интенсивнее, скорость поглощения кислорода с повышением температуры с 30 до 60°C увеличивается в зависимости от состава угля в 3-10 раз. Предварительный подогрев угля еще более активизирует последующий процесс его окисления. Окисление угля может происходить только при условии притока кислорода.

Количество поглощаемого углем кислорода прямо пропорционально корню квадратному из парциального давления кислорода:

$$V = K \sqrt{P_{\text{кисл}}}$$

где  $K$  - коэффициент пропорциональности,

$V$  - скорость поглощения кислорода,

$P$  - парциальное давление кислорода.

При добыче угля такие газы, как метан и другие углеводороды, окклюдированные в угольном веществе, постепенно выделяются в атмосферу, а атмосферные газы ( $O_2$ ,  $CO_2$  и др.), наоборот, частично поглощаются углем. Можно полагать, что находящиеся в угле окклюдированные газы защищают внутреннюю его поверхность от окисления. При выделении окклюдированных газов создаются условия



для более интенсивного окисления. Однако это влияние окклюдированных газов на самонагревание углей незначительно и вряд ли имеет практическое значение.

С точки зрения петрографического (вещественной) состава уголь представляет весьма сложный комплекс различных веществ, связанных химически и механически. Микроскопическим анализом, в проходящем свете, выделены четыре основных ингредиента (составляющие части) угля: фюзен (fusain - волокнистый), дюрен (durain - твердый), витрен (vitrain - стекловидный) и клярэн (clarain - блестящий) (по немецкой классификации предложены соответственно только три ингредиента: фузит, дурит, витрит).

В различных углях количество четырех основных петрографических частей угля изменяется в широких пределах. В некоторых пробах курных углей определено содержание: 0-2 % фюзена, 0-35,4 % дюрена, 51,9-98,7 % витрена и 0-35,2 % клярена. Предполагается, что «критической точкой в каком-либо куске угля является место соприкосновения витрена и фюзена и что фюзен является затравкой, которая приводит витрен к горению». Особенно опасным поэтому является случай, когда фюзен вкраплен в витрен. В слоистых составных частях угля блестящие ингредиенты - витрен и клярэн - обнаруживают большую способность к окислению и воспламенению, чем матовый дюрен. Содержание углерода повышается, а кислорода в угле падает в порядке: витрен клярэн дюрен.

Вследствие высокой адсорбционной способности фюзена по отношению к кислороду при низкой температуре и последующих процессов окисления температура угля может подняться настолько, что наиболее опасная в отношении воспламенения часть витрена также станет энергично реагировать с кислородом и вызовет дальнейшее повышение температуры и возможность самовозгорания.

К геологическим факторам относятся в первую очередь следующие факторы:

- 1) мощность пласта;
- 2) геологическое строение;
- 3) характер вмещающих пород;
- 4) тектонические нарушения в залегании ископаемого (сбросы, сдвиги, складчатость и т.д.).

Большая мощность пласта является фактором, повышающим способность угля к самонагреванию.

При большой мощности сильнее проявляется давление пород, образуется больше трещин и они длиннее. По трещинам, заполненным раздробленным углем, может циркулировать воздух, что в связи с малой теплопроводностью угля создает условия, благоприятные для местной аккумуляции теплоты.

Выемка мощных пластов в большей степени нарушает устойчивость пород, чем выемка тонких и средней мощности. Тепло, развивающееся за счет механической энергии обвалов, обрушений и трения горных пород при их сдвигении, может ускорить окислительные процессы.

Целики в мощных пластах, оставленные в выработке, скорее разрушаются под влиянием большого давления, чем в тонких.

Кроме того, самовозгорание мощных пластов происходит легче, чем тонких, вследствие худшей теплопроводности угольных толщ, по сравнению с песчаником, сланцем и прочими породами. Это обстоятельство благоприятствует аккумуляции тепла в мощных пластах.

При строении пласта из двух - трех или более пачек, разделенных прослойками мягкого углистого сланца начало воспламенения наблюдается в прослойках углистого сланца или в прослойках угля плохого качества.

Возгорание в пластах никогда не наблюдалось в нижней пачке, а всегда только в средней пачке или одном из прослоек в середине или у кровли пласта. Физико-механические свойства боковых пород кровли и почвы (структура, вязкость, твердость, пластичность и др.) также имеют определенное значение в процессе возникновения эндогенных пожаров.

Если в кровле залегают крепкие, но трещиноватые породы, оседающие в выработанном пространстве огромными глыбами, то предохранительные целики угля, испытывая значительное давление, дают тем больше мелочи, чем тверже почва пласта или отдельных наслоений.

Мелочь, имея большую поверхность поглощения, окисляется гораздо интенсивнее, чем уголь в крупных кусках. В данном случае процессу саморазогревания способствует еще и механическая теплота, выделяющаяся при дроблении пород.

При мягкой пластической почве и устойчивой вязкой кровле результаты давления менее опасны. Весьма велико влияние термических параметров горных пород: теплоемкости, теплопроводности и температуропроводности.

Уголь, углистые и глинистые сланцы - плохие проводники тепла, в то время как, например, песчаники являются хорошими проводниками. Обыкновенные углистые сланцы хуже проводят тепло, чем уголь; мягкий и песчаник проводит тепло в два раза лучше, чем уголь, а твердый - в три раза.

Масса сланца, обрушивающаяся в выработанном пространстве из кровли, может покрыть угольную мелочь. Это вследствие слабой теплопроводности сланца создает условия, благоприятные для аккумуляции теплоты окисления и местного повышения температуры до опасного предела.

Аналогичные условия не исключены также в случае свиты пластов с прослойками из сланцев и подобных им пород. Наоборот, если бока

представлены песчаниками или иными породами с высокой теплопроводностью, то рассеивание теплоты может быть достаточным для того, чтобы не произошло нагревания.

Тектонические нарушения в правильном залегании пластов (раздувы, складчатость, смятие, сбросы, сдвиги интрузии смежных пород) нередко способствуют развитию пожаров от самовозгорания.

Самонагревание под землей является всегда результатом взаимодействия между процессами теплообразования и теплопотери, а последняя зависит от теплопроводности: поэтому при большой мощности уголь в связи с тем, что обладает чрезвычайно малой теплопроводностью по сравнению с другими породами, может оказать эффективное изолирующее действие. Принимая во внимание большую мощность пласта, можно определенно сказать, что изолирующее действие угля играет роль в начальной стадии самовозгорания.

Горнотехнические факторы имеют доминирующее значение в деле борьбы с эндогенными пожарами.

Если физико-химические свойства ископаемого, равно как геологические элементы залегания, являются условиями, от нас не зависящими, то опасность эндогенных пожаров может быть в значительной мере устранена рациональными методами вскрытия и эксплуатации месторождения с соблюдением всех требований техники противопожарной защиты предприятия.

К горнотехническим факторам, влияющим на возникновение и развитие пожаров от самовозгорания, в первую очередь можно отнести:

- 1) способ вскрытия и подготовки шахтных полей;
- 2) систему очистной выемки;
- 3) вентиляционный режим;

4) интенсивность и правильность подвигания подготовительных и очистных работ и др. Наряду с этим, огромную роль имеет общая организация противопожарного контроля и защиты предприятия.

### *1.9. Пожарные газы в различных фазах рудничного пожара и взрывы пожарных газов*

Атмосфера в подземных выработках, в которых начинается или начался и идет пожар, испытывает специфические изменения состава. Изменения эти в основном состоят в том, что в воздухе, заполняющем выработки, охваченные пожаром (т.е. в очаге пожара и в выработках, сообщающихся с ним непосредственно или через трещины), падает содержание кислорода (иногда почти до полного исчезновения его), и появляются газо- и парообразные продукты пожарного процесса, так называемые пожарные газы, частью ядовитые, частью взрывчатые. Это обстоятельство, а также то, что состав пожарных газов и их концентрации в рудничных выработках зависят от рода и фазы подземного пожара и делают весьма важным практически и теоретически знание того, каков бывает при различных условиях состав атмосферы в выработках, охваченных пожаром.

При анализах проб воздуха из пожарных участков часто ограничиваются количественным определением кислорода и углекислоты и только качественным определением оксида углерода, причем анализы производят в рудничных лабораториях со сравнительно небольшой точностью и недостаточно надежными методами, что еще более снижает достоверность и сравнимость данных о составе пожарных газов.

В большинстве проб были обнаружены следующие газы: кислород, диоксид углерода (углекислота), оксид углерода, водород, метан, ацетилен, этилен и азот. Не были обнаружены вовсе или найдены в виде

следов углеводороды бензольного ряда ( $C_nH_{2n-6}$ ) сернистый ангидрид, сероводород, аммиак и цианистые соединения.

Отрицательные результаты в отношении  $SO_2$  объясняются, вероятно, тем, что если этот газ и образуется при сгорании угля, то в силу своей неустойчивости немедленно окисляется в триоксид серы  $SO_3$ .

Сероводород был обнаружен в виде следов. Этот газ принадлежит к числу неустойчивых соединений; при наличии кислорода и влаги он быстро окисляется до элементарной серы.

Аммиак был открыт в виде следов. Содержание бензола доходило в отдельных пробах до 0,4%. Бензол кипит при  $80^\circ C$ , поэтому если этот газ и образуется в пожарном участке, то при охлаждении пожарных газов может сгущаться в жидкость, выпадая капельками на почву.

Содержание кислорода составляет в зависимости от возраста пожара и места взятия пробы 20,62 - 0,05 % и  $CO_2$  0,1 - 16,97%. Данные анализов показали, что с увеличением процента  $CO_2$  количество  $O_2$  в пробах уменьшается; однако установить какую-либо строгую закономерность в этом отношении не представляется возможным.

Высоким содержанием горючих газов отличались пробы, взятые из молодых по возрасту пожарных очагов. За исключением одной пробы с чрезвычайно высоким и едва ли еще где-либо наблюдавшимся содержанием оксида углерода (7,727%), остальные пробы показали следующие концентрации CO:

В 3 случаях 2 - 3 %

«1»	2 - 3 %
«4»	0,5 - 2 %
«7»	1,0 - 1,5 %
«21»	0,5 - 0,5 %
«36»	0,01 - 0,1 %
«6»	менее 0,01 %

Метан, за исключением 11 проб, взятых из старых пожарных очагов, был обнаружен в больших количествах, чем оксид углерода (в отдельных случаях больше, чем в 10 раз). В двух пробах содержание метана составило свыше 5%, в остальных 0,018 - 5 %.

Анализы на водород показали следующее его содержание:

В 6 случаях	6 - 8 %
«3»	2 - 4 %
«20»	0,5 - 2 %
«41»	0,1-0,5%
«11»	менее 0,1%
«1»	0%

Этилен присутствовал во всех случаях в количестве 0,035 -0,456%. Ацетилен не был обнаружен в 19 пробах, в 35 пробах были только следы, в 12 пробах содержание его составляло 0,001 - 0,01% и в 6 - более 0,01% (в одном случае 0,22%).

Содержание азота колебалось в очень значительных пределах (65,4 - 93,448%).

Странное на первый взгляд снижение азота до количества менее его нормы в наружном воздухе объясняется тем, что суммарное содержание кислорода, водорода и их соединений в пожарных газах может превысить первоначальный процент кислорода в атмосфере.

Кроме того, небольшая часть присутствующего в пожарных газах азота выделяется при сгорании угля, который содержит его около 1%.

В общем, на основании многочисленных анализов проб воздуха из пожарных участков угольных шахт можно констатировать следующее:

1. Состав атмосферы в месте подземного пожара характеризуется пониженным содержанием  $O_2$ , наличием  $CO_2$ ,  $CO$ ,  $H_2$ ,  $CH_4$  и других углеводородов и повышенным содержанием водяного пара, причем процентное содержание указанных горючих газов тем ниже, чем ближе пожар к потуханию.

2. Содержание отдельных компонентов в газовой смеси изменяется в следующих пределах (в зависимости от возраста пожара, состава горючего, количества притекающего кислорода, места и условий взятия пробы и т.д.):  $O_2$ - от сотых долей процента до 19-20,5 %;  $CO_2$  - от сотых долей процента до 15-20 %;  $CO$  - от следов до 5-8 %, обычно же меньше 1-2 %;  $H_2$  - от долей процента до 8-10%, обычно 1-2 %;  $CH_4$  и других углеводородов, если пласт сам по себе не выделяет метана, от 1-2 до 5-10 %, а если выделяет, то до нескольких десятков процентов, преимущественно метана; суммарное содержание горючих газов - в пределах от долей процента до 10-20 %, а если пласт газоносный, то и больше за счет выделяющегося метана.

3. Возможность наличия горючих газов ( $CO + CH_4 + H_2$  + углеводороды) в количестве до 10-20 % и выше подтверждается неоднократно происходившими в шахтах взрывами и воспламенением газов в участках, где протекал пожар, даже в таких, в которых выделение метана до пожара не наблюдалось.

Количество образующегося оксида углерода значительно возрастает, если пожаром охвачен крепежный лес; дистилляция последнего начинается при более низкой температуре, и оксида углерода выделяется при этом в 3- 4 раза больше, чем при дистилляции каменного угля.

Большое количество оксида углерода и других газов также образуется при горении конвейерных лент, гибких вентиляционных труб и электрических кабелей.

Как и всякий процесс горения, рудничный пожар проходит несколько фаз, для каждой из которых характерен особый состав пожарных газов. Особо важно различать указанные фазы для эндогенных пожаров, при которых каждая из фаз длится более или менее продолжительное время (иногда недели, месяцы и даже годы).



Различают четыре фазы протекания эндогенных пожаров:

- 1) самонагревание и тление;
- 2) разгорание (сухая перегонка);
- 3) горение и
- 4) потухание. При пожарах от иных причин первая фаза отпадает.

Фазы эти для угольных шахт характеризуются следующими признаками:

1. В первой фазе происходит окисление угля при сравнительно слабом притоке кислорода; повышение температуры обуславливает интенсивное выделение из угля гигроскопической влаги и влаги окисления.

2. Во второй фазе уголь накаляется, и выделяется такое количество теплоты, что происходит загорание в участке первоначального очага, а затем в ближайшей к нему зоне. Вследствие малого притока кислорода, в данном случае наблюдается процесс своего рода сухой перегонки (полукоксования или дистилляции) угля.

При этом выделяются сравнительно большие количества горючих газов, главным образом водорода, метана и других углеводородов. Из-за недостаточного притока кислорода образуются значительные количества оксида углерода. Пожарные газы этого периода бедны еще углекислотой, которая является конечным продуктом полного сгорания угля.

Важнейшими признаками второй фазы служат: появление характерного запаха, повышение температуры рудничного воздуха и горных пород, так как температура воспламенения угля составляет примерно 300-350°C.

Продолжительность второй фазы пожара зависит целиком от внешних причин, главным образом от притока воздуха.

В одних случаях этот период длится несколько часов и дней, в других он растягивается на недели и месяцы.

3. В третьей фазе (горение) количество углекислоты в пожарных газах значительно возрастает; одновременно в них присутствует оксид углерода, нередко в больших концентрациях, вследствие диссоциации  $CO_2$  при высокой температуре и в соприкосновении с раскаленными толщами угля и пород. В выработках наблюдается пожарный смрад, выделение дыма и, наконец, выходы открытого пламени (не всегда).

Температура рудничного воздуха, повышаясь, может достигнуть  $1000^{\circ}C$  и выше. Данные о температуре нагрева пород в месте пожара очень скудны, но судя по тому, что в некоторых случаях наблюдается шлакование пород, температура эта может доходить до  $1300-1500^{\circ}C$ .

4. В течение четвертой фазы пожара (потухание) наблюдается дальнейшее обогащение пожарных газов углекислотой при соответственном убывании кислорода, горючих газов и оксида углерода. Чем лучше изолирован пожарный участок и чем ближе момент окончательного потухания пожара, тем быстрее снижается процентное содержание горючих газов.

В шахтах без выделения метана концентрация этих газов доходит до 1% и менее (до следов). Дым и пламя исчезают. Температура воздуха и пород постепенно начинает понижаться, пока не станет нормальной для данного участка.

Весьма важно с практической точки зрения знать, по каким признакам пожар можно считать окончательно ликвидированным.

Значение этого вопроса понятно, если учесть, что неоднократно при вскрытии перемычек происходило разгорание (оживление) изолированных пожаров, считавшихся уже потушенными.

Исследования показали, что потухание пламени горящих газов происходило в атмосфере следующего состава (табл. 1.4.)

Таблица 1.4.

Составы атмосферы, в которых происходило потухание пламени горящих газов

Пламя	Состав атмосферы, %		
	$O_2$	$CO_2$	
Водород	5,50		94,50
Оксид углерода	13,35	12,25	74,40
Метан	15,60	2,30	82,10

Можно считать пожар окончательно потушенным, если при отсутствии или при наличии лишь следов оксида углерода и продуктов перегонки угля (в том числе и водорода, но без учета метана, который может выделяться вне связи с пожаром) температура воздуха в месте пожара снизилась примерно до  $+ 25^{\circ}C$  и в течение длительного времени (несколько месяцев) остается постоянной или устойчиво спадает.

Однако этот вопрос не может считаться полностью разрешенным и по нему требуются дальнейшие исследования, так как, несомненно в отдельных случаях даже эндогенные пожары совершенно затухают и не дают рецидивов при температурах при вскрытии несколько более высоких, чем указанные.

Пожарные газы, скопясь в изолированном пространстве, могут давать смеси, способные взрываться при совокупности определенных условий (как-то: состав и соотношение этих газов с воздухом, температура, давление и др.).

Известно, что взрывчатыми свойствами газы обладают только внутри так называемых пределов взрываемое.

Необходимо содержание в воздухе определенного минимального количества того или иного газа, чтобы смесь, каким-либо путем воспламененная, дала взрыв. Это минимальное содержание газа в воздухе называется нижним пределом взрываемости. Точно так же смесь становится невзрывоопасной, когда содержание газа в ней превышает

некоторый максимум, который носит название верхнего предела взрываемости данного газа; между обоими пределами находится область, внутри которой газозвудушная смесь, будучи воспламененной, взрывается.

Пределы взрываемости газовых смесей зависят от интенсивности искры, температуры газовой смеси и давления.

Повышение температуры и давления действует в сторону расширения пределов, и, наоборот, с понижением давления и температуры эти пределы сближаются.

Пределы взрываемости горючих газо-воздушных смесей могут быть вычислены по формуле Ле Шателье (2.1), получившей дальнейшее развитие в трудах Коуарда (Сожаго.) и Джонса (топеш).

Формула имеет в виду чистые горючие газы, так как примесь углекислоты, азота и других инертных газов влияет на ее точность. Полученные, путем вычисления по этой формуле, пределы взрываемости совпадают с определенными опытным путем.

Пределы (приблизительные) взрываемости смеси отдельных газов с воздухом при обычных температуре и давлении приведены в табл. 1.5.

Таблица 1.5.

Пределы взрываемости смеси отдельных газов с воздухом по Коуард - Джонсу

Газ	Пределы взрываемости в % содержания газа в смеси		Диапазон (амплитуда) взрываемости
	нижний	верхний	
Водород	4,1	74,0	69,9
Оксид углерода	12,5	75,0	62,5
Метан	5,3	14,0	8,7

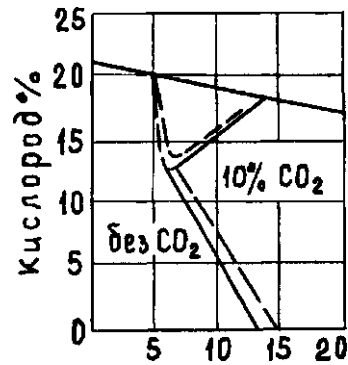


Рис. 1.1. Диаграмма пределов взрываемости для смесей метана, кислорода и азота в присутствии 10%  $CO_2$

Влияние на пределы взрываемости углекислоты  $CO_2$  столь мало, что для практических целей без особой погрешности можно пользоваться данными диаграммы (рис. 1.1). Вообще же в изолированных участках содержание  $CO_2$  обычно не превосходит 6-8 %, чаще всего оно ниже.

Метан %

## 2. ОГНЕГАСИТЕЛЬНЫЕ ВЕЩЕСТВА

### 2.1. Распыленная вода, как огнегасительное вещество

#### 2.1.1. ЛОКАЛИЗАЦИЯ ПОДЗЕМНОГО ПОЖАРА СТАЦИОНАРНЫМИ АВТОМАТИЧЕСКИМИ УСТАНОВКАМИ ВОДНОГО ПОЖАРОТУШЕНИЯ

Человек использует воду и целенаправленно изучает ее свойства не одно тысячелетие. Еще Аристотель в IV веке до нашей эры создал теорию четырех начал (или стихий) – это огонь, воздух, земля и вода. При этом он говорил, что вода – начало всех начал. В наше время ученые «разложили» воду на атомы и молекулы, выделили Дейтерий ( $D_2O$ ), Тритий, т.е. изучили структуру воды досконально. Но, тем не менее, она и до сих пор остается одним из наименее изученных и наиболее загадочных веществ. Из истории мы знаем, что еще древнегреческие механики еще во II век до нашей эры изобрели и использовали для дворцовых фонтанов первые насосы. Примерно в то же время насосы стали использовать и для тушения пожаров. Сегодняшние пожарные стволы с точки зрения классической гидравлики не многим отличаются от тех, которые использовались для нужд пожаротушения в XVI веке в Германии и Голландии.

Вода как огнегасительное вещество остается до настоящего времени основным средством тушения подземных пожаров. Поэтому большое внимание уделяется вопросам разработки пожарных гидравлических аппаратов и их совершенствования, изысканию способов повышения огнегасительной эффективности воды, а также возможности использования высокодиспергированной воды для активного тушения и локализации подземных пожаров.

Распыление намного улучшает огнегасительную способность воды, т.к. распыленная вода быстрее испаряется, причем скорость

теплопоглощения зависит от степени дисперсности капель, поскольку с увеличением поверхности водяных частиц процесс испарения воды ускоряется (с 1 л воды выделяется 1700 л пара). В табл. 1 показано, в каких широких пределах изменяется поверхность распыленной воды в зависимости от степени ее распыления.

Таблица 2.1

Изменение общей поверхности 1 л воды в зависимости от степени ее распыления

Диаметр капли, мм	3,0	1,5	1,0	0,8	0,4	0,2	0,02
Поверхность капель в 1 л воды, $M_2$	2	4	6	8	16	30	300

*Для тушения пожаров используются пожарные стволы.*

Ствол КРБ предназначается для получения компактных струй. Применяется при тушении пожаров в шахтах. Наличие пробкового крана на стволе позволяет регулировать или совершенно прекращать подачу воды, не прибегая к закрытию вентиля водопровода (ли остановке насоса).

Ствол КРБ состоит из алюминиевого корпуса 1, соединенного при помощи винтовой нарезки с пробковым краном 2. На противоположный конец ствола навинчена пожарная гайка 3 для подсоединения к ней выкидного рукава. Внутренняя поверхность ствола имеет плавные переходы от одного диаметра к другому, что обуславливает спокойное прохождение воды.

Перед пуском воды в питающую линию необходимо поворотом рукоятки открыть кран на стволе для выпуска воздуха, чтобы предотвратить разрыв рукавов сжатым воздухом.

Для перекрытия ствола необходимо повернуть рукоятку крана слева направо до ограничителя. Делать это нужно медленно, без рывков, во избежание гидравлического удара, в результате чего могут лопнуть пожарные рукава.

Тактико-техническая характеристика КРБ

Длина, мм.....	380
Диаметр выходного отверстия конической насадки, мм.....	13
Вес, кг.....	1,2
Диаметр пожарной гайки, мм.....	50

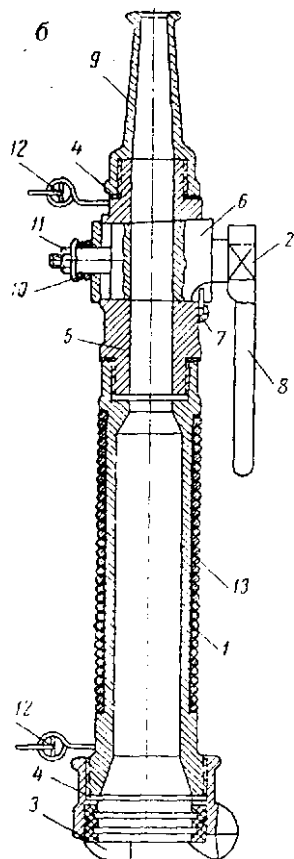


Рис. 2.1. Пожарный ствол КРБ:  
а – общий вид; б - разрез

КОМБИНИРОВАННЫЙ СТВОЛ КС-2

Пожарный ствол КС-2 (рис. 1, а) предназначен для получения:

- 1) компактной струи;
- 2) распыленной струи;
- 3) веерообразной водяной завесы, которая защищает ствольщика от воздействия пламени;

Применяется при тушении подземных пожаров.

При давлениях воды в пожарной магистрали перед распылительными насадками в интервале от 4 до 8 кгс/см<sup>2</sup> средняя дисперсность капель изменяется от 0,5 до 0,1 мм. Высокая интенсивность теплопоглощения распыленной воды объясняется не только увеличением поверхности капель.

Одним из положительных свойств распыленной воды является ее способность находиться во взвешенном состоянии в воздухе контактирования водяных частиц с раскаленными пожарными газами.

При изучении распыления жидкости механическими форсунками установлено, что при прочих равных условиях дисперсность капель прямо пропорциональна давлению воды перед насадкой. Поэтому в практических условиях можно только путем увеличения давления в водоподводящей магистрали резко повысить эффективность тушения огня в подземных выработках и камерах без увеличения подачи воды к горящему объекту.



Интенсивность поглощения тепла каплями воды неразрывно связана с формой факела, образуемого распылительной насадкой. Форма факела определяется двумя величинами: длиной и углом конуса факела. Обе эти величины находятся в прямой зависимости друг от друга (с увеличением угла конуса длина факела уменьшается и, наоборот, с уменьшением угла длина факела увеличивается). Угол конуса не зависит от диаметра выходного отверстия насадки и определяется конструктивными особенностями распылителя. Длина факела в известной мере определяется диаметром насадки и прямо пропорционально давлению воды. Одной из основных характеристик факела распыленной струи является интенсивность протекания воды через единицу площади поперечного сечения факела. Эта характеристика дает представление о структуре и плотности факела. Факелы могут быть внутри полыми (так называемые зонтичные факелы) или плотными.

При устройстве водяных завес в шахте капли воды вылетают навстречу струе пожарных газов, движущейся с некоторой скоростью. Поэтому под скоростью капель следует понимать не абсолютную скорость, а относительную, равную геометрической сумме скоростей капель и пожарных газов. Таким образом, при составлении тепловых расчетов следует учитывать, что капли, вылетевшие из насадки с какой-то начальной скоростью, будут унесены потоком пожарных газов, в то время как горизонтальная составляющая ее абсолютной скорости будет равна нулю. Унос капель значительно уменьшает время пребывания капель малого диаметра в активном контакте с раскаленными пожарными газами.

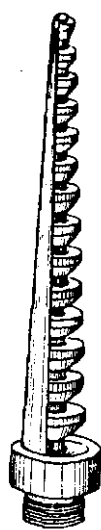
На выбор параметров водяной завесы (степени дисперсности капель и характера их распределения в факеле) определяющее влияние оказывает время существования капель различного диаметра, зависящее от условий испарения (температуры и скорости потока пожарных газов). При этом расчет времени существования капли связан с количественной

характеристикой процесса теплообмена водяных капель с пожарным газом.

Для механического распыления воды применяются специальные насадки. Наиболее простыми по конструкции являются насадки дефлекторного типа, *и* которых вода распыляется до туманообразного состояния при ударе о специальный отражатель. К этому типу, распылителей относится ствол РС, использующийся в ВГСЧ. Однако полый зонтичный факел с большой плотностью капель в периферийной части не обеспечивает равномерного распределения распыленной воды по объему защищаемой горной выработки.

Центробежные насадки, используемые в ряде случаев для тушения подземных пожаров, работают на принципе распыления воды центробежными силами. Однако в целом центробежные распылители не удовлетворяют требованиям, предъявляемым к ним условиями тушения подземного пожара, так как эти насадки дают слабо заполненный зонтичный факел и при больших расходах воды (около 3-4 л/с и выше) дисперсность капель в факеле резко понижается.

Наиболее приемлемыми для устройства водяных завес являются винтовые распылители (рис. 2.2, *a*), в которых поток воды отсекается по



периферии постепенно суживающимися винтовыми гранями. «Стружки» воды отбрасываются по плоскости винта, образуя заполненный факел распыленной воды. Такими распылителями оборудуются водоразбрызгиватели ВВР-1, находящиеся на оснащении ВГСЧ, и установки УАК-2.

Степень дисперсности капель винтовых насадок определяется толщиной  $m_n$  водяной пленки, срезаемой винтовыми гранями:

Рис.2.2 Шахтные распылители: *a* – винтовой, *б* - полидефлекторный

$$m_n = (S_b - m_b) \operatorname{tg} \alpha_k / 2$$

где  $S_b$  — шаг витка, мм;  $m_b$  — толщина витка, мм;  $\alpha_k$  — угол внутреннего конуса,

Конструктивные особенности винтовых распылителей позволяют получать факелы с определенными углами раскрытия, что имеет большое значение при выборе распылителей для выработок с различным поперечным сечением. Форма факела зависит от угла наклона рабочей плоскости винта к его оси.

Существующие типы водоразбрызгивателей, как правило, закрепляются в геометрическом центре поперечного сечения горных выработок. При этом общим принципом ориентирования водяных факелов является относительно равномерное распределение распыленных струй по сечению выработки.

До последнего времени подобная схема водяной завесы считалась наиболее рациональной. Однако анализ опыта тушения подземных пожаров распыленной водой, а также специально проведенные экспериментальные исследования указывают на ошибочность такого взгляда. Так, дальность полета воды в нижней части факела равна длине гипотенузы треугольника, вертикальным катетом которого является высота установки водоразбрызгивателя над почвой выработки, а горизонтальным — проекция гипотенузы на почву выработки. Таким образом, дальность полета водяных капель определяется при прочих равных условиях (давление воды, ее расход и т. п.) величиной, равной половине угла раскрытия факела.

Под действием сил инерции и гравитации струи воды прижимаются к почве выработки, вследствие чего исключается возможность парения капель в нижней части факела. При этом время контактирования распыленной воды с нагретыми пожарными газами, а следовательно, и их тепло поглощающая эффективность резко уменьшаются. По нашим

подсчетам, до 25-30% воды в завесе не принимают деятельного участия в охлаждении пожарных газов и расходуются нерационально, поскольку почва в месте установки водяной завесы не является объектом горения.

Иная картина наблюдается при «работе» верхней части факела. Здесь часть водяных струй, вылетающих из насадки под большим углом к оси выработки, достигают кровли кратчайшим путем, увлажняют и охлаждают крепь. С уменьшением угла выхода распыленных струй дальность их полета и время соприкосновения капель воды с нагретыми газами увеличиваются. При этом появляется большая масса парящих в воздухе капель, которые, вследствие малых размеров и длительного пребывания в газовом потоке, успевают испариться, значительно повысив интенсивность теплопоглощения в завесе. Таким образом, анализ показывает, что для повышения эффективности действия водяной завесы в установках должны применяться такие распылители, по выходе из которых вода полностью отбрасывалась бы вперед - вверх и затем по широкой дуге падала бы на почву.

Необходимость подобного ориентирования распыленной воды в горячей выработке подтверждается и постоянным характером распределения температур в движущемся потоке пожарных газов, в котором максимальное значение (1400-1500°C) достигается у кровли выработки, и минимальное (400-700°C) - у почвы.

Для обеспечения рационального распределения распыленной воды по сечению горячей выработки разработан специальный полидефлекторный распылитель (рис. 2.2. б).

Параметры противопожарных водных завес. При тушении подземного пожара активным способом в горных выработках, по которым подается свежая струя воздуха, необходимо предотвратить распространение огня по исходящей струе. Одним из эффективных приемов, обеспечивающих надежную локализацию пожара, является

устройство водяных завес на пути движения раскаленных пожарных газов. Однако наиболее эффективны автоматические водяные завесы, заранее размещаемые в наиболее ответственных узлах шахты.

При составлении проектов противопожарной защиты шахт учитываются следующие факторы, определяющие параметры водяной завесы:

- 1) поперечное сечение горной выработки;
- 2) скорость движения воздушной струи;
- 3) крепление защищаемой горной выработки;
- 4) температура самовоспламенения в потоке пожарных горючих материалов, находящихся в выработке;
- 5) расчетная температура потока пожарных газов;
- б) интенсивность теплообмена в районе водяной завесы, определяемая конструктивными особенностями распылительных насадок, величиной давления воды, схемой расстановки распылительных насадок по сечению выработки и др.

При определении параметров проектируемой водяной завесы необходимо установить температуру, при которой не происходит воспламенения горючих материалов в защищаемой горной выработке. Установлено, что для донецких углей критические температуры самовоспламенения колеблются от 115 до 200°С. В этом диапазоне находятся также и критические температуры самовоспламенения бурых углей. Для древесины опасна температура нагревания 230-270° С.

В соответствии с требованием «Инструкции по противопожарной защите угольных и сланцевых шахт» необходимый расход воды на устройство водяной завесы для преграждения распространения пожара в участковых горных выработках, закрепленных деревянной крепью, определяется с учетом площади поперечного сечения и скорости вентиляционной струи (табл. 2.2).

Таблица 2.2

**Расход воды в пожарных водяных завесах**

Площадь сечения выработки, $M^3$	Расход воды в завесе, $M^3/ч$ , при скорости движения воздушной струи, м/с.				
	1	2	3	4	5
4,0	20,0	22,4	25,2	28,4	32,0
5,0	25,0	28,0	31,5	35,5	40,0
6,0	30,0	33,6	37,8	42,6	48,0
7,0	35,0	39,2	44,1	49,7	56,0
8,0	40,0	44,8	50,4	56,8	64,0
9,0	45,0	50,4	56,7	63,9	72,0
10,0	50,0	56,0	63,0	71,0	80,0
11,0	55,0	61,6	69,3	78,1	88,0
12,0	60,0	67	75,6	85,2	96,0

Примечание: Расход воды на создание водяной завесы, устанавливаемой в выработках, закрепленных негорючей или трудногорючей крепью, следует принимать равным  $50 M^3/ч$ .

### 2.2.2 АВТОМАТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ ЛОКАЛИЗАЦИИ ПОДЗЕМНЫХ ПОЖАРОВ.

Автоматическая установка УВЗ. Установка для создания водяных завес на вентиляционных штреках на расстоянии не более 50 м от выхода из лав.

#### Техническая характеристика установки УВЗ-2

Тип.....Водоразбрызгивающая автоматическая  
 Рабочее давление,  $кгс/см^2$  .....От 4 до 15  
 расход воды на  $1 M^2$  сечения выработки,  $M^3/ч$  .....От 5 до 9  
 Температура срабатывания установки,  $^{\circ}C$ .....72 и выше  
 Инерционность срабатывания установки при температуре  $100^{\circ}C$ , мин.....Не более 4  
 Тип разбрызгивателя.....Полидефлекторный  
 Диапазон площадей сечений защищаемых выработок,  $M^2$  .....От 4 до 9  
 Масса, кг.....285

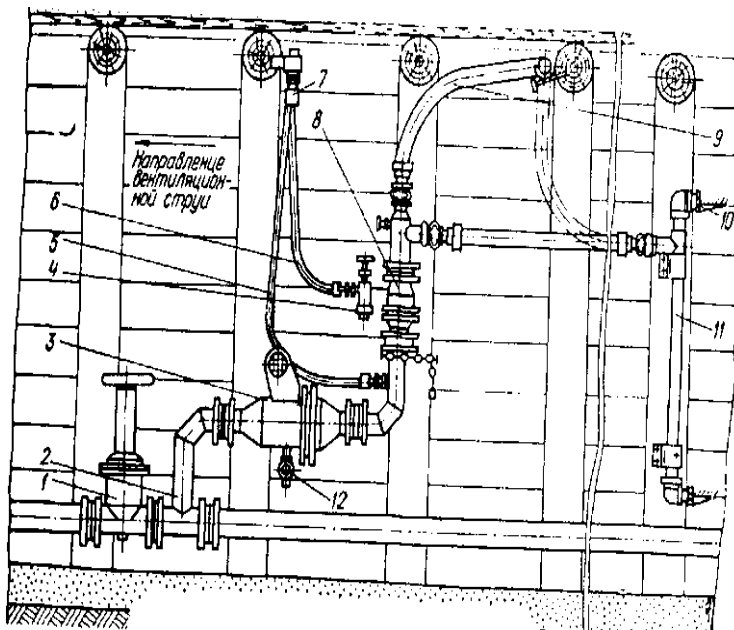
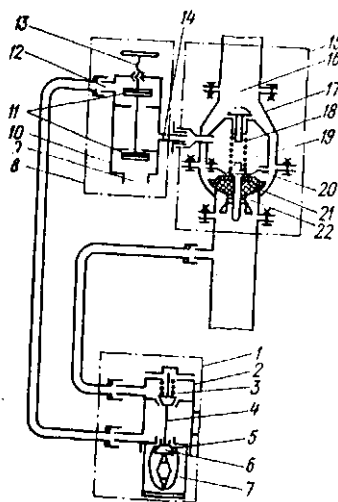


Рис. 2.3 Автоматическая переносная установка УВЗ-2 для создания пожарных водяных завес на вентиляционных штреках.



подводящих

Рис. 2.4. Кинематическая схема УВЗ-2.

Установка УВЗ-2 (рис. 3.4) состоит из задвижки 1, тройника 2, посредством которого установка подсоединяется к участковому противопожарно-оросительному трубопроводу, фильтра 3, вентиля ручного пуска 4, напорного рукава 5, соединяющего автоматический клапан 8 с пусковым клапаном 7, рукава 6, соединяющего пусковой клапан с вентилем ручного пуска, гибких трубопроводов 9, подводящих

воду к коллекторам 11, па которых закреплены полнфлекторные разбрызгиватели 10. Для пуска воды при промывке фильтра используется выпускной вентиль 12.

легкоплавкий замок спринклерного оросителя плавится, клапан открывается и пропускает воду из пожарно-оросительного трубопровода к полидефлекторным разбрызгивателям.

Основными составными частями установки являются пусковой клапан, вентиль ручного пуска и автоматический клапан.

Установка монтируется на вентиляционном штреке в 10-20 м от выхода из лавы и после продвижения лавы на 50 м должна переноситься.

Количество разбрызгивателей, ввинчиваемых в коллекторы установки, выбирается по необходимому расходу воды в зависимости от сечения защищаемой горной выработка и скорости вентиляционной струи (табл. 2.3).

Таблица 2.3

**Выбор количества разбрызгивателей для автоматической установки УВЗ-2**

Площадь сечения выработки, м <sup>2</sup>	Скорость вентиляционной струи, м/с									
	1		2		3		4		5	
	Расход воды м <sup>3</sup> /ч	Количество разбрызгивателей	Расход воды м <sup>3</sup> /ч	Количество разбрызгивателей	Расход воды м <sup>3</sup> /ч	Количество разбрызгивателей	Расход воды м <sup>3</sup> /ч	Количество разбрызгивателей	Расход воды м <sup>3</sup> /ч	Количество разбрызгивателей
4	20	2	22,4	2	25,2	2	28,1	2	32	2
5	25	2	28,0	2	31,5	2	35,1	2	40	3
6	30	2	33,6	2	37,8	2	42,1	3	48	3
7	35	2	39,2	3	44,1	3	49,1	3	56	3
8	40	3	44,8	3	50,4	3	56,1	3	64	4
9	45	3	50,4	3	56,7	3	63,1	4	72	4

*Автоматическая стационарная водоразбрызгивающая установка УАК-2* предназначена для тушения пожаров на приводных головках ленточных конвейеров распыленной водой.



## Техническая характеристика установки УВЗ-2

Тип.....	Водоразбрызгивающая автоматическая установка
Рабочее давление, кгс/см <sup>2</sup> .....	От 6 до 15
Статистическое давление воды перед установкой, кгс/см <sup>2</sup> .....	Не менее 20
Расход подаваемой воды, м <sup>3</sup> /ч .....	Не менее 30
Температура срабатывания установки, °С.....	72 и более
Тип разбрызгивателя.....	Винтовой
Количество разбрызгивателей.....	9
Площадь орошения при высоте подвески верхних разбрызгивателей 2,5 м, м <sup>2</sup> .....	Не менее 20
Плотность орошения, л/с, м <sup>2</sup> .....	0,1
Масса, кг.....	395

Установка УАК-2 (рис. 2.5) состоит из задвижки 1, фильтра 2, пускового клапана 3 с побудительным клапаном 4, трехходового

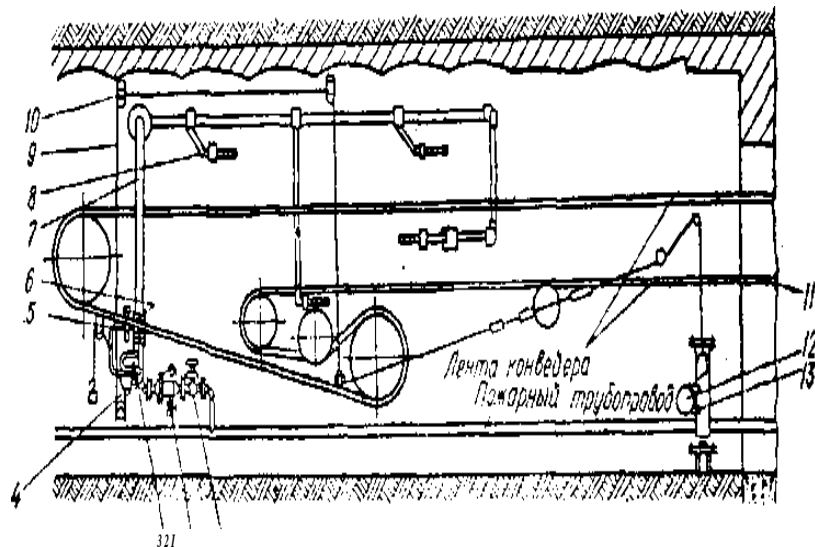


Рис. 2.5 Автоматическая установка УАК-2 для тушения пожара на приводе ленточных вентилей 5, автоматического клапана 6, системы трубопроводов 7,

разбрызгивателей 8, тросовой системы 9 распадается, контргруз открывает побудительный клапан 4, побудительная полость автоматического клапана сообщается с атмосферой, клапан открывается и пропускает воду из пожарного трубопровода к разбрызгивателям. Одновременно конечный выключатель отключает электроэнергию.

Установка монтируется на приводе ленточного конвейера в соответствии с монтажным чертежом.

### *2.2.3 УСТАНОВКА ВОДЯНОГО ПОЖАРОТУШЕНИЯ УВПК-Б*

Предназначена для тушения пожаров распыленной водой на приводных секциях ленточных конвейеров.

Установка представляет собой модификацию установки УВПК, в которой электронная система автоматического пуска заменена системой гидромеханического запуска.

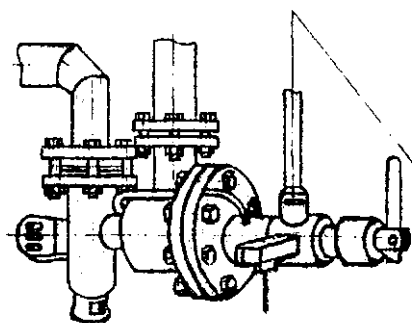
Установка имеет исполнения УВПК-Б, УВПК-Б-01 и УВПК-Б-02 для применения на различных типах приводных секций и состоит из клапана, задвижки, распределительного трубопровода с оросителями и системы гидромеханического запуска с побудительным трубопроводом, тепловыми датчиками, устройством ручного пуска и реле давления. Установка автоматически включается в работу при повышении температуры в зоне приводных барабанов выше 72 °С. При срабатывании установки или снижении давления воды на входе ниже 0,6 МПа реле давления отключает привод конвейера.

Минимальное рабочее давление, МПа, не менее	0,35
Максимальное рабочее давление, МПа, не более	2,0
Статическое давление воды перед установкой, МПа, не более	2,5
Расход подаваемой воды, м <sup>3</sup> /ч, не менее,	

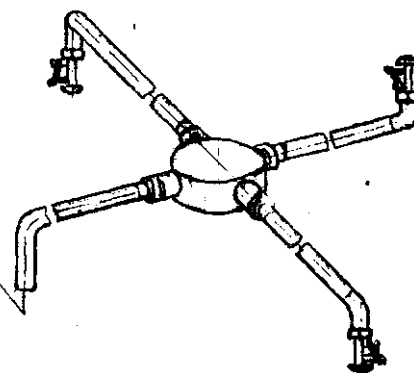
по пополнениям:	УВПК-Б	44
	УВПК-Б-01	38
	УБПК-Б-02	44
Температура срабатывания теплового датчика, °С		47 или 72
Интенсивность орошения, л.с/м <sup>2</sup> , не менее		0,1

Установка отличается от установок УВПК более надежной и простой в эксплуатации системой пуска, повышенной огнетушащей способностью за счет применения новых распылителей воды РВ-1С, создающих полноконусный факел воды, распыленной до туманообразного состояния.

Поставка установки производится по предварительным заявкам шахт и объединений. Цена договорная.



Клапан с устройством ручного пуска и реле давления



Побудительный трубопровод с тепловыми датчиками

#### *2.2.4 АВТОМАТИЧЕСКАЯ ПОЖАРОТУШАЩАЯ УСТАНОВКА С АВТОНОМНЫМ ИСТОЧНИКОМ ВОДЫ АЛУ-600*

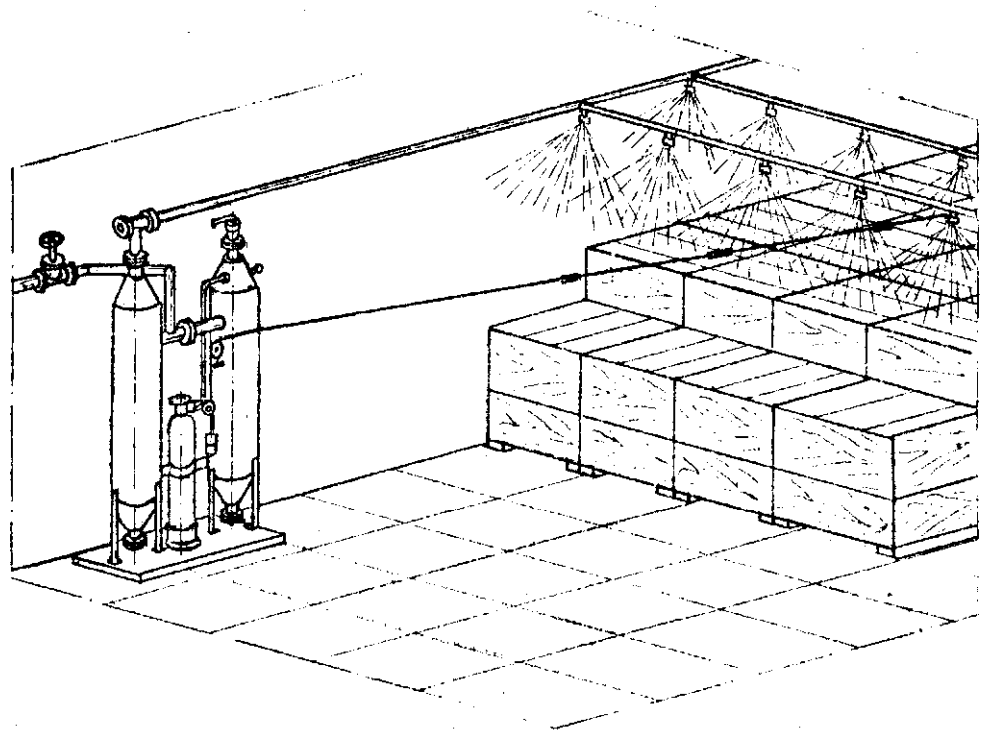
Предназначена для тушения пожаров на приводных станциях ленточных конвейеров, а также других пожароопасных объектах.

Установка включает в себя закрепленные на платформе два бака для воды, баллон со сжатым газом, систему пуска с тепловыми датчиками, блок аварийного выключения конвейера и распределительный трубопровод с распылителями вода.

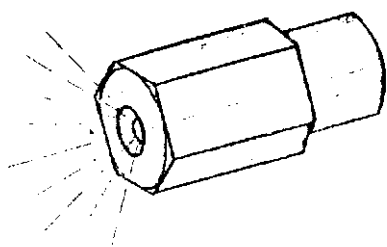
### *Основные технические параметры установки*

Объем воды для тушения, л	500
Рабочее давление воды в баках при срабатывании установки, МПа	1,0 до 0,4
Время работы, с	60 - 10
Температура срабатывания теплового датчика, °С	47 или 72
Длина зоны защиты, м, не менее	10
Интенсивность орошения, л.с/м <sup>2</sup> , не менее	0,1
Масса, кг, не более	400

Установку отличает высокая надежность в работе, полная автономность, удобство монтажа, наладки и эксплуатации. Комплектность конструкции, высокий уровень сборности позволяют легко встраивать установку в защищаемый объект. Установка снабжена новыми высокоэффективными распылителями воды типа РВ, создающими факел воды распыленной до состояния "тумана", обеспечивая максимальную огнетушащую способность. Установка имеет повышенную защиту от ложных срабатываний. Поставка установок производится на договорной основе по предварительным заявкам.



Общий вид установки



Распылитель воды



Датчик тепловой

Рис. 2.6. Огнетушащие порошковые составы

К числу наиболее современных эффективных средств борьбы с пожарами следует отнести огнетушащие порошковые составы (ОПС). Они имеют ряд преимуществ и могут быть использованы для ликвидации горения различных веществ, горючих жидкостей, нефтяных и газовых фонтанов, а также для тушения горения оборудования, находящегося под

напряжением, всех видов транспорта, боевой техники и т.д. ОПС не токсичны, не вызывают коррозии металлов, их применение возможно при низких температурах. Во многих случаях они являются самым приемлемым средством пожаротушения и взрывоподавления.

Высокая огнетушащая способность порошковых составов (ОПС) основана на том, что атомы и радикалы активных центров разветвленно-цепной реакции горения гибнут на поверхности активной основы порошковых составов.

Традиционными средствами тушения горения можно прекратить одним или несколькими способами:

- 1) охлаждением очага горения ниже критической температуры;
- 2) изоляцией очага горения от окислителя;
- 3) снижением содержания кислорода (окислителя) в результате разбавления инертными газами;
- 4) механическим срывом пламени сильными струями газа или воды;
- 5) созданием условий огнепреграждения, когда пламя вынуждено распространяться через узкие каналы;
- 6) ингибированием реакций горения [1, 2].

При порошковом пожаротушении все эти факторы в большей или меньшей мере воздействуют на пламя одновременно со значительным преимуществом химического гетерогенного и гомогенного ингибирования горения [2], однако, к сожалению, количественная сторона этого процесса для различных конкретных случаев еще не совсем изучена. В частности, не ясен вопрос о роли гетерогенного и гомогенного факторов, не выявлен отдельно вклад реакций каждого из активных центров с порошковым ингибитором и т.д. В первом приближении подавление горения горючих веществ различных классов может быть объяснено одновременным действием химических и физических факторов

(табл. 1), при этом следует отметить, что в зависимости от типа сгораемого вещества (равно как и от дисперсности порошков) вклады отдельных факторов подавления горения могут перераспределяться.

Таблица 2.4. Влияние различных физико-химических факторов на подавление горения различных веществ

Фактор	Классы пожаров			
	А	В	С	Д
Гетерогенное ингибирование	+	+++	+++	
Гомогенное ингибирование	+	+	+	
Изолирование	+++			+++
Экранирование	+	++	++	
Охлаждение	+	+	+	+
Огнепреграждение		+	+	
Разбавление горючей среды		+	+	

Примечание: + - действие фактора имеет место; ++ - действие фактора значительно; +++ - действие фактора является доминирующим.

Исследования по разработке отечественных ОПС были начаты во ВНИИПО в 1969 г. В результате комплекса научно-исследовательских и опытно-технологических работ, выполненных совместно с рядом организаций [ИХФ АН СССР, Харьковским научно-производственным объединением (ХНПО) «Карбонат», ИФХ АН УССР, Тбилисским университетом и др., были получены новые данные по огнетушащему действию порошков, разработаны рецептуры эффективных ОПС и организован их промышленный выпуск.

В качестве основного компонента первых порошковых составов использовали бикарбонат натрия (состав ПСБ для тушения горючих жидкостей и газов) и карбонат натрия (состав ПС для тушения натрия). Промышленное производство огнетушащих порошков было начато в 1972 г. на опытно-промышленной установке производительностью 2200 т-год Славянского ПО «Химпром» (УССР). Благодаря большой организационной работе, проведенной институтом и ХНПО «Карбонат», в

1977-1978 гг. на СПО «Химпром» был введен в строй действующих цех по производству огнетушащих порошковых составов производительностью 8000 т/год. Совершенствование рецептуры состава ПСБ, изменение его дисперсности привело к созданию модификации ПСБ-3, выпускаемой с 1977 г. Не уступая лучшим зарубежным аналогичным порошкам, состав ПСБ-3 обладает достаточно высокой огнетушащей способностью по классам В и С и хорошими эксплуатационными свойствами. Однако этот порошок не обеспечивает тушение горючих тлеющих материалов и поэтому использование его ограничено. Более универсальными являются составы на основе фосфорно-аммонийных солей ПФ и Пирант-А, производство которых освоено в последние годы. Для тушения натрия разработан и внедрен в производство порошок МГС на основе графита, превышающий по эффективности ранее выпускавшийся ПС более чем в 10 раз.

В условиях ряда современных химических производств используют наиболее распространенные огнетушащие агенты – вода и воздушно-механическая пена – в данном случае непригодны. Применительно к таким объектам разработан и внедряется в производство состав ПГС-М на основе хлоридов щелочных металлов. Состав П-2АП на фосфорно-аммонийной основе разработан завод «Респиратор» преимущественно для нужд «Минуглепрома».

Как показали межведомственные испытания, наибольшей эффективностью обладает состав ПФ, однако из-за слеживаемости и текучести этот порошок требует серьезной доработки. Это обстоятельство сдерживает пока его применение в автомобилях и автоматических установках порошкового тушения.

Самыми высокими эксплуатационными характеристиками обладает состав Пирант-А, в технологии получения которого имеется резерв



повышения показателей огнетушащей способности за счет корректировки рецептуры и гранулометрического состава.

Серийное производство ОПС освоено на Константиновском и Гомельском химических заводах Министерства по производству минеральных удобрений, а также на Славянском производственном объединении «Химпром» Министерства химической промышленности. Наиболее простой технологией является схема производства ОПС на СПО «Химпром», которая позволяет стабильно производить порошок ПСБ-3 с удовлетворительными показателями эксплуатационных характеристик. Применительно к составу ПФ на основе значительно более гигроскопичных фосфорно-аммонийных солей эта технологии требует серьезной доработки в вопросах сушки сырья, смешения и дозировки модифицирующих добавок и т. д.

Технологическая схема производства ОПС типа П-2АП на основе аммофоса достаточно проста и позволяет производить ОПС для нужд Минуглепрома по высшей категории качества.

Таблица 2.5. Характеристики порошковых средств пожаротушения

Марка ОПС	Основной компонент	Область применения	Гарант ийный срок храхранен ия, лет	Допускаемый температурный диапазон применения, °С	Цена за тонну, грн.	Завод-изготовитель
ПСБ-3	Бикарбонат натрия	Горючие жидкости, газы, электроустановки	4	-50 – +50	1300	ПО «Химпром» (г. Славянск)
ПФ	Фосфорно-аммонийные соли	Тлеющие материалы, горючие жидкости и газы, электроустановки	2	-50 – +50	3800	То же
ПГС-М	Хлориды щелочных металлов	Горючие жидкости, газы, электроустановки, металлы	2	-50 – +50	3800	Внедряется на ХНПО «Карбонат» (Харьков)
Пирант-А	Фосфорно-аммонийные соли	Тлеющие твердые сгораемые материалы, горючие жидкости и газы, электроустановки	2	-50 – +50	3900	Гомельский химзавод
П-2АП	Фосфорно-аммонийные соли	Тлеющие материалы, конвейерная лента, горючие жидкости, электроустановки	8	-50 – +50	3800	Константиновский химзавод (Донецкая обл.)
МГС	Графит	Натрий	4	-50 – +50	9800	ХНПО «Карбонат» (Харьков)

Таблица 2.6. Физико-химические характеристики серийных ОПС

Марка ОПС	Показатель огнетушащей способности по классам пожаров			Показатель слеживаемости, мм (метод ПСО)	Гигроскопичность, %	Гранулометрический состав, %		
	А кг/м <sup>3</sup>	В кг/м <sup>2</sup>	С кг			100 мкм	10-50 мкм	50-100 мкм
ПСБ-3	Не тушит	0,66	1,06	17	0,53	9,84	18,93	1,84
ПФ	0,23	0,47	1,17	11	3,22	13,66	13,67	2,67
П-2АП	0,40	0,89	ведений	17	3,40	8,13	22,85	0,01
Пирант-А	0,31	0,65	1,37	18	3,05	1,77	6,31	1,84

Недостатком этой технологии является отсутствие возможности введения жидких гидрофобизирующих добавок и производства ОПС на основе нескольких солей.

Более прогрессивной и гибкой технологической схемой является схема производства ОПС многоцелевого назначения Пирант-А, получаемого при высушивании солевого раствора исходных составляющих активного компонента в распылительной сушилке с последующей классификацией и смешением с дисперсной добавкой для придания текучести и предотвращения слеживаемости порошка. Несомненным преимуществом такого способа получения ОПС является возможность модернизации рецептуры без изменения схемы, а также получения ОПС с заданным гранулометрическим составом и низким показателем слеживаемости. Это открывает перспективу использования данного типа ОПС для зарядки емкостей автоматических установок и пожарных автомобилей порошкового пожаротушения.

В настоящее время в стране накоплен определенный опыт производства огнетушащих порошков. Однако в целом по стране на долю порошкового тушения приходится, к сожалению, менее 1%. Каковы же причины, сдерживающие применение порошков, и каковы пути их решения?

Для ответа на поставленные вопросы проанализируем влияние характеристик ОПС на эффективность применения порошкового пожаротушения (рис. 2.7). Из схемы видно, что основное значение имеет химическая основа солей порошка. Известны десятки солей, которые в дисперсном состоянии являются хорошими ингибиторами горения

жидкостей, газов, твердых веществ и материалов, однако выбор химической основы порошка обусловлен, прежде всего, токсичностью, температурным диапазоном применения ОПС, его эксплуатационными характеристиками, а также экономической целесообразностью использования.

Порошковые составы на основе фосфорно-аммонийных солей являются наиболее предпочтительными, поэтому в балансе производства ОПС предусматривается их выпуск в количестве 75% по отношению к общему объему.

Основой порошкового состава ПСБ-3 является дефицитное сырье – пищевой бикарбонат натрия. В связи, с этим ХНПО «Карбонат» и УКРНИПБ ведутся работы по созданию составов на недефицитной основе. Более перспективной основой получения порошка классов В, С является хлорид калия, так как в отличие от бикарбоната он не разлагается при температурах выше 60 °С. Кроме того, ОПС на его основе, не уступая составу ПСБ-3 по показателям огнетушащей способности по классам В и С, может быть использован для тушения некоторых металлов и их сплавов.

В качестве сырья для производства термодиспергирующихся ОПС используют мочевины и поташ, а также другие калиевые соли [2]. Преимуществом ОПС такого типа (аналоги «Монекса») является его способность увеличивать площадь поверхности частиц при растрескивании в результате нагрева при контакте с пламенем. При этом на поверхности образуется множество активных центров гетерогенной гибели радикалов – носителей цепи горения, а также резко увеличивается число частиц на единицу массы ОПС. В отечественной практике пожаротушения составы этого типа получили ограниченное применение из-за высокой гигроскопичности и стоимости.

Выбор химической основы ОПС определяет необходимость введения модифицирующих добавок, обеспечивающих гидрофобизацию, как правило, гигроскопичных солей и их текучесть, а также снижающих слеживаемость порошков. Несмотря на широкий ассортимент известных добавок, их

применение в рецептурах отечественных ОПС ограничено (аэросил, каолиношамотная пыль, кремнийорганические соединения). Остродефицитным является аэросил АМ-1-300, входящий практически во все рецептуры ОПС, а также кремнийорганические гидрофобизаторы. Производственные мощности по выпуску аэросила АМ-1-300 недостаточны для организации производства ОПС в требуемых для зарядки и перезарядки технических средств порошкового пожаротушения объемах.

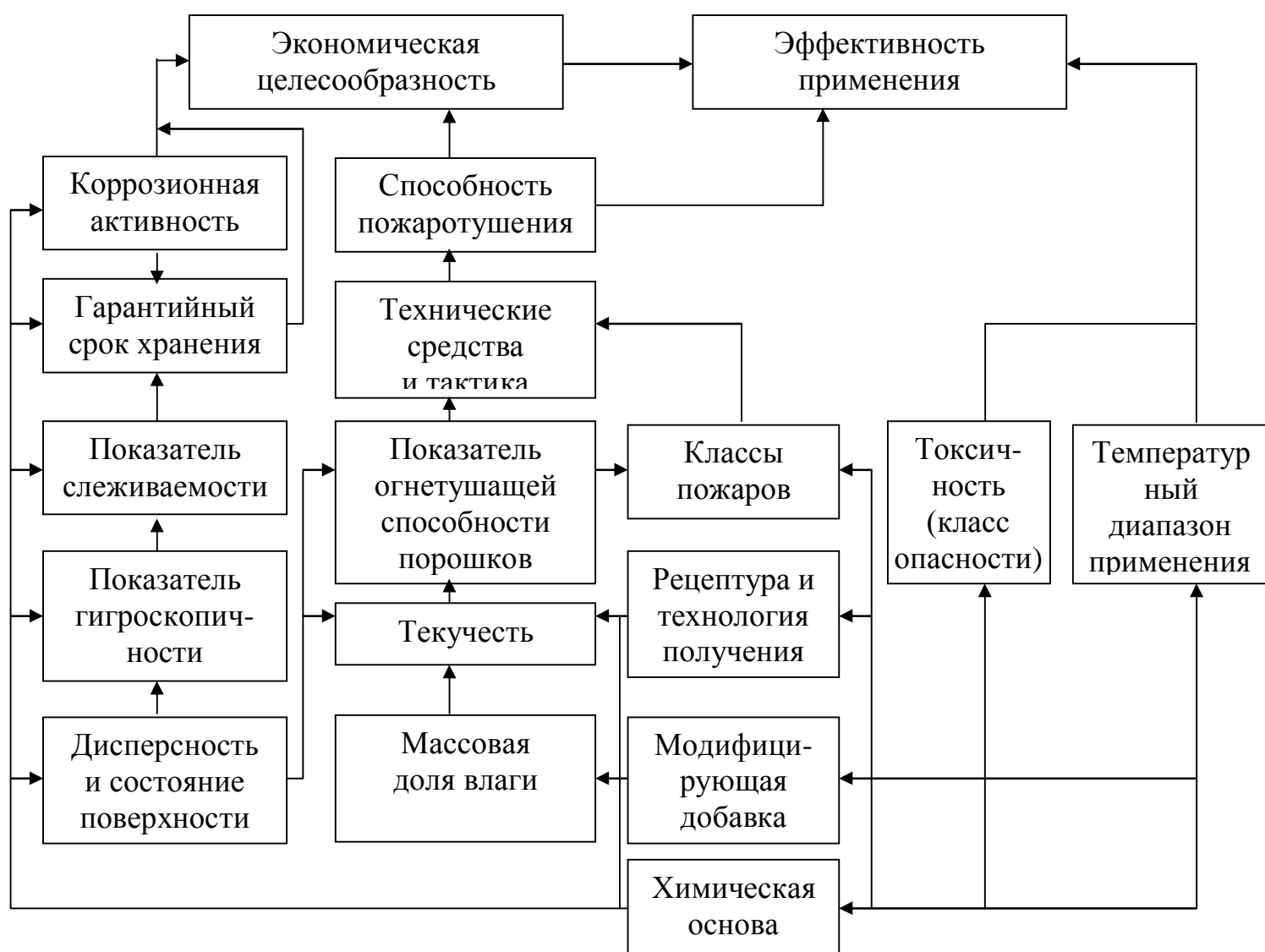


Рис. 2.7. Влияние характеристик ОПС на эффективность их применения

Технология получения ОПС в значительной степени обусловлена химической основой и набором модифицирующих добавок, так как хорошо

известен факт влияния способов получения при неизменном химическом составе ОПС на их огнетушащую способность и эксплуатационные характеристики. Перспективным является путь постепенной модернизации рецептуры и технологии при имеющейся технологической схеме (производство П-1А, П-1АП, П-2АП) по сравнению с совмещением производства ОПС на различной основе на одной технологической нитке (производство ПФ и ПСБ-3).

Существенное влияние на огнетушащую способность ОПС оказывает их дисперсность [2]. Результаты исследований свидетельствуют о важной роли мелком фракции в процессе подавления горения газоздушных смесей. Выбор оптимального гранулометрического состава при одновременном решении вопросов технологии производства ОПС со стабильными эксплуатационными характеристиками позволит повысить огнетушащую способность ОПС.

В последние годы обнаружен эффект синергизма и антагонизма солей, составляющих основу ОПС. Схематично этот эффект представлен на рис. 2. Поиск рецептур, смесевых составов второго типа является еще одним резервом повышения огнетушащей способности ОПС. Представляется перспективной разработка по этому принципу ОПС универсального назначения при комбинации, например, хлоридов щелочных металлов и фосфатов. Составы такого типа эффективны при тушении сгораемых веществ классов А, В, С и Д, а также электроустановок.

Разработка новых рецептур, совершенствование серийных ОПС, а также контроль их качества неэффективны без разработки нормативных документов, регламентирующих показатели качества ОПС.

В настоящее время в стране действует ГОСТ 4.107.98 «Система показателей качества продукции. Порошки огнетушащие. Номенклатура показателей». Цель этого стандарта – создание единых норм, требований и методов испытаний физико-химических и эксплуатационных характеристик

ОПС, что позволит обеспечить оптимальный уровень качества при разработке и изготовлении порошков.

Уровень качества огнетушащих порошков является условием необходимым, по недостаточным для их эффективного применения, так как ОПС и технические средства доставки составляют единое целое.

Рассмотрим вопрос влияния технических средств, методов и тактики применения ОПС (см. рис. 2.7). Действительно, помимо высоких показателей огнетушащей способности ОПС для достижения тушения необходим квалифицированный выбор технических средств их применения, а неучет нормативных параметров подачи ОПС на тушение (расход, время тушения, площадь или объем горения и т. д.) может привести к отрицательному результату и дискредитации этих высокоэффективных средств пожаротушения. Следует признать, что в настоящее время общая теория порошкового пожаротушения отсутствует, а имеющиеся данные, к сожалению, часто противоречивы и не позволяют квалифицированно применять ОПС для тушения реальных пожаров, а также проектировать средства противопожарной защиты объектов народного хозяйства. Прогнозирование выбора порошковых средств пожаротушения для сгораемых веществ различных классов и новых материалов без проведения трудоемких полигонных испытаний по этой причине невозможно. Исследования, направленные на выявление взаимосвязи физико-химических характеристик.

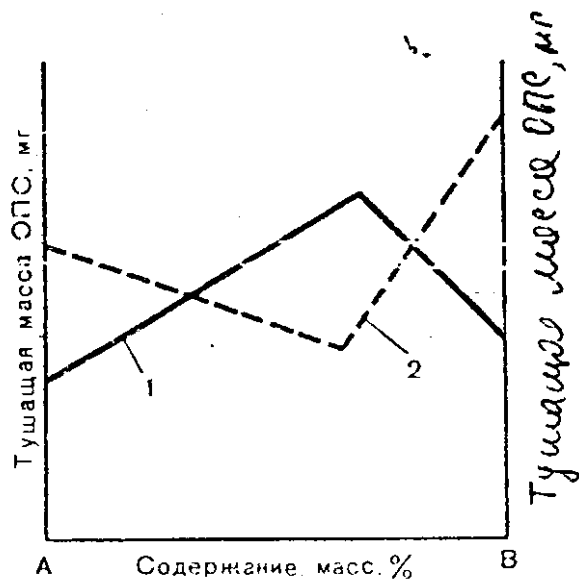


Рис. 2.8. Эффект антагонизма (1) и синергизма (2) солей-ингибиторов



### 3. ЛИКВИДАЦИЯ ПОЖАРОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ АЗОТА

#### 3.1. Способы подачи

Подачу азота можно осуществлять как с поверхности шахты, так и в подземных условиях (п.3.2); в выработки, проветриваемые за счет общешахтной депрессии, и в тупиковые выработки (п.3.5).

Инертизации пожарного участка азотом может осуществляться как при открытых, та и при закрытых вентиляционных проемах в перемычках, установленных в выработках с поступающей и исходящей вентиляционными струями (п.3.3).

Если интенсивность выпуска составляет 100-200 м<sup>3</sup>/мин, газ целесообразно подавать в спутный вентиляционный поток. Возможна также подача азота непосредственно в зону горения по трубопроводу или специально пробуренной скважине (п.3.3).

Если утечки воздуха из изолированного участка велики, необходимо принудительно снять депрессию с помощью вентилятора местного проветривания и создания камер выравнивания давлений с соответствующим контролем за депрессией.

#### 3.2. Средства подачи

С поверхности шахты подачи азота производится при помощи специальных автогазифицированных установок типа АГУ-2м производительность по газу до 9 м<sup>3</sup>/мин или передвижных газифицированных станций ПеГАС-100/20 производительностью 100 м<sup>3</sup>/мин. Оборудование газифицированных станций смонтировано на платформах автомобилей ЗИЛ-130 и КРАЗ-275 и состоит из насосов, испарителей и электрощитов. В отличие от установок АГУ-2м газификационные установки ПеГАС-100/20 может регулироваться путем ступенчатого включения или выключения насосов. При работе одного насоса интенсивность выпуска равна 25м<sup>3</sup>/мин; двух – 50 м<sup>3</sup>/мин.

Кроме того, разработаны и серийно выпускаются автомобильная передвижная установка АГУ-8к производительностью  $50\text{ м}^3/\text{мин}$  и газификационная азотная станция ГАС-100/20 производительностью до  $160\text{ м}^3/\text{мин}$ . Оборудование АГУ-8к смонтировано на платформе автомобиля КРАЗ-257, а ГАС-100/20-на автомобильном прицепе.

Хранение и транспортирование жидкого азота осуществляется в цистернах с вакуумно-порошковой и вакуумно-многослойной изоляцией.

Для газификации жидкого азота в подземных условиях с температурой окружающей среды не ниже  $15^\circ\text{C}$  и подачи его по трубопроводам предназначен передвижной шахтный газификатор ГШ-1 производительностью  $15\text{--}20\text{ м}^3/\text{мин}$ . Перевозка и транспортировка жидкого азота в подземных условиях осуществляется в шахтных транспортных установках УТЖА-2 и «Азот-1». Установка УТЖА-2 состоит из двух емкостей ЦТК-0,5/0,25, а «Азот-1» - из одной цистерны ЦТК-1/0,25, закрепленных на переоборудованных платформах шахтных вагонеток ВГ-3,3. Масса заливаемого азота 760 и 900 кг соответственно.

Расчетная интенсивность выпуска азота определяется по времени образования нижнего предела взрываемости смеси горючих газов в изолируемом пожарном участке.

### *3.3. Порядок работы*

При организации подачи азота необходимо расставить и подключить автогазификационные установки к системе трубопроводов и энергосети, подготовить трубопровод и замерные станции для контроля расхода азота, проверить трубопровод дистанционного отбора проб из аварийного участка(п.1.4).

Для расстановки автогазификационных установок должна быть подготовлена сравнительно ровная площадка в непосредственной близости от железнодорожного полотна у места стоянки цистерн.

Для подключения автогазификационных установок АГУ-2м к шахтным трубопроводам (рис.3.1): воздухопадающим, дегазационным, противопожарным - по поверхности со ствола до места стоянки газификаторов прокладывается трубопровод 5 расчетного диаметра (п.3.5), но не менее 1-мм, который с одной стороны соединяется с трубопроводом 6, проложенным по стволу, с другой – с замерной станцией и магистральным коллектором 4. Автогазификационные установки 3 подключаются к магистральному коллектору 4 с помощью специальных соединений, выполненных из высоконапорных шлангов. Специальные соединения, выполненных из высоконапорных шлангов. Специальные соединения к магистральному коллектору подключается с помощью гаек Богданова, а к газификаторам – коническим штуцером с накидной гайкой. Подключение установок АГУ-2м к железнодорожным цистернам 1 производится периодически, только для заправки жидким азотом с помощью специальных сильфонных металлических труб 2. Заправка каждой установки длится 10-15 мин. После опорожнения цистерна 1 убирается, а на ее место ставят полную (с жидким азотом). Периодическая заправка АГУ-2м – один из недостатков этих установок. При работе четырех установок фактически одна почти все время находится под заправкой.

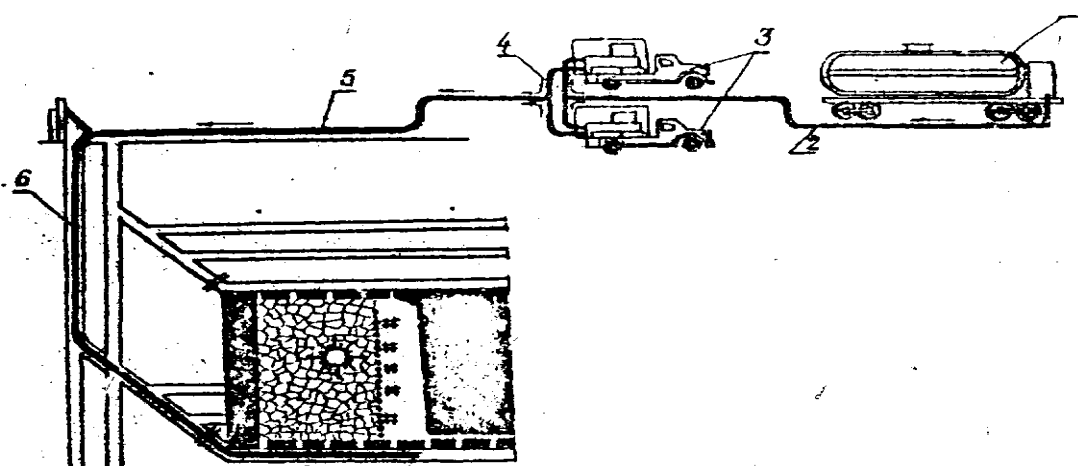


Рис. 3.1. Схема подключения установок АГУ-2м;

1 -железнодорожная цистерна; 2 – металлические трубы; 3 - автогазификационные установки; 4 - магистральный коллектор; 5, 6 - трубопровод

Подключение к работе автогазификационных станций ПеГАС-100/20 несколько отличается от АГУ-2м. Установки ПеГАС-100/20 (рис.3.2) непосредственно подключаются к трубопроводу с помощью патрубка диаметром 100мм, выведенного в передней части кузова, и соединяются болтовыми фланцевыми соединениями.

В связи с тем, что установка ПеГАС-100/20 не имеет промежуточной емкости (одно из преимуществ перед АГУ-2м) для заправки жидким азотом, она непосредственно подключается к цистерне, из которой к насосным агрегатам поступает азот. ПеГАС-100/20 может работать от двух цистерн одновременно.

При замене пустых цистерн полными работа установки ПеГАС-100/20 не прекращается, т.е. поддерживается постоянная интенсивность выпуска азота.

Для предотвращения взрывов газозвушной смеси в пожарном участке должны выезжать не менее двух установок ПеГАС-100/20 (одна рабочая, другая резервная) и одна установка АГУ-2м или одна установка ПеГАС-100/20 и четыре АГУ-2м (резерв).

Шахтный трубопровод, проложенный с поверхности по горным выработкам в аварийный участок, специально готовится для подачи азота. С этой целью все ответвления (трубопроводы, идущие на другие участки) от основной магистрали перекрываются и на каждом отводе устанавливаются металлические заглушки. Это делается для предотвращения утечек азота и загазирования других эксплуатационных участков шахты.

Для соединения шахтного трубопровода с автогазификационными установками, располагаемыми в непосредственной близости от цистерн с жидким азотом (или автоцистерны), на поверхности прокладывается временный трубопровод.

На поверхности у автогазификаторов и в шахте, в непосредственной близости от изолирующей перемычки, на трубопроводе устанавливается аппаратура замерных станций. Эта аппаратура предназначена для

дистанционного измерения давления и температуры газообразного азота в трубопроводе.

Конструкцией замерных станций предусмотрен как визуальный контроль параметров азота по показаниям приборов, так и фиксирование их с помощью самопишущих приборов.

Пред выпуском азота производится визуальный осмотр трубопровода и устраняются обнаруженные неисправности. После устранения неисправностей производят пробный выпуск азота в течение 10 минут и на замерных станциях определяют расход азота. Кроме этого, линейные отделения выявляют местные утечки газа, и они превышают 20%.

Если не удалось ликвидировать утечки газа и они превышают 20% (но не более 40%), например, при использовании трубопроводов с длительным сроком службы, необходимо увеличить интенсивность выпуска азота. Увеличение интенсивности выпуска производят до получения расчетного количества азота на входе в участок (при давлении не более 1,5 МПа).

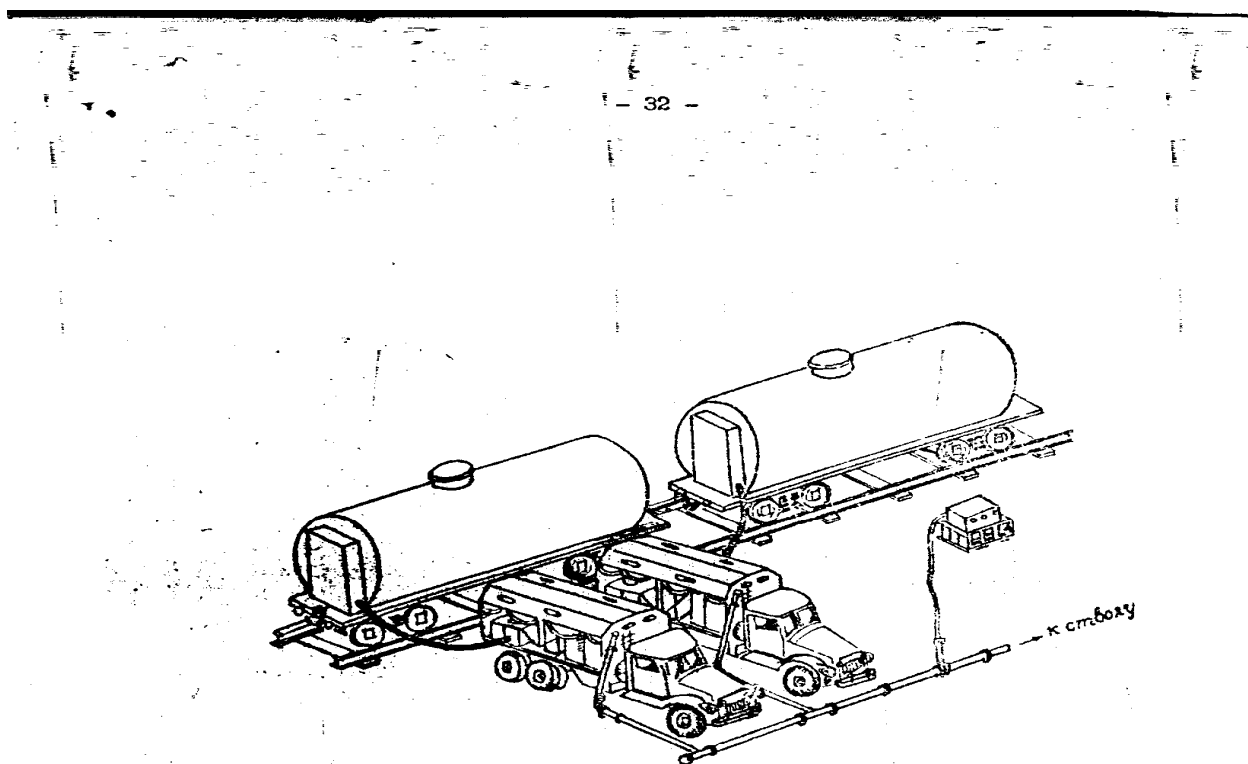


Рис.3.2. Схема подключения установок ПеГАС к шахтным трубопроводам

Если нет возможности получить расчетное количество азота на входе в участок, то от использования данного трубопровода отказываются и готовят другой или прокладывают новый (полностью или с заменой отдельных участков).

При выпуске азота в подземных условиях выработка, из которой будет производиться подача, должна проветриваться дежательной вентиляционной струей и иметь достаточные площадь и сечение для размещения шахтного газификатора ГШ-1, цистерны для транспортирования и хранения жидкого азота (ЦТК-0,5/0,25, ЦТК-1/0,25 или ЦТК-1,6/0,25), трубопровода для подачи газообразного азота в изолированный объем (рис.3.3).

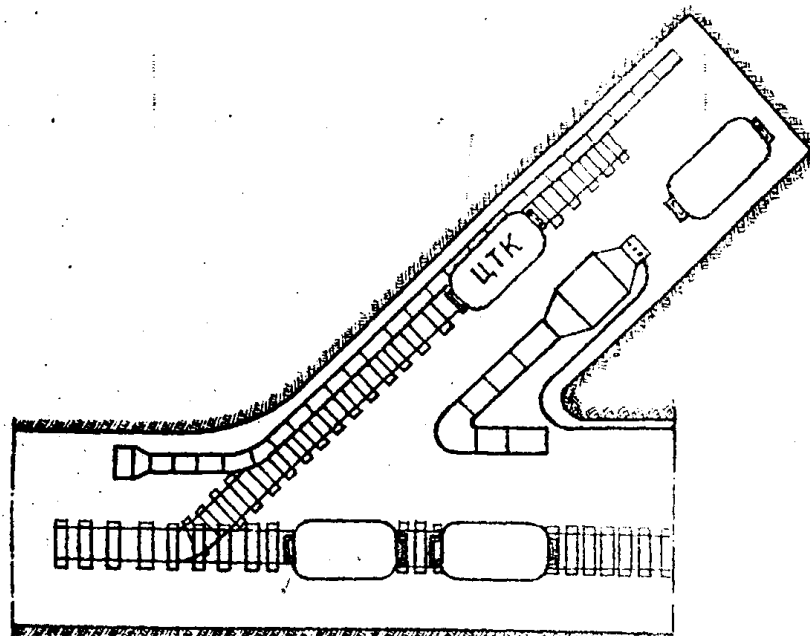


Рис.3.3. Схема размещения шахтного газификатора и транспортных цистерн в камере

До начала монтажа шахтного газификатора проверяется комплектность исправность составных частей, затем шахтный газификатор подсоединяют к внешнему источнику энергии.

В основном шахтный газификатор комплектуется пневматическим вентилятором ВМП-6. При отсутствии пневмоэнергии на месте газификации на шахтном газификаторе производят замену вентилятора ВМП-6 на ВМ-6 (или ВМ-6м) и подсоединяют к источнику электроэнергии.

Для подачи газообразного азота могут быть использованы шахтные стальные трубопроводы, предназначенные для сетей сжатого воздуха, дегазации, пожарно-оросительных целей, или рукава пожарные, прорезиненные из синтетических нитей.

По выработкам, не имеющим трубопроводов, от места подачи до места выпуска газообразного азота в изолированном пространстве прокладывается линия из прорезиненных пожарных рукавов диаметром не менее 70 мм.

Одновременно с подготовкой установки к работе с поверхности к месту расположения установки доставляется жидкий азот в цистернах ЦТК. При отсутствии необходимого количества цистерн для одновременной доставки жидкого азота к месту газификации достаточно выбрать такое минимальное количество их, чтобы можно было обеспечить бесперебойную подачу газообразного азота.

Подача азота в подземных условиях начинается после окончания всех подготовительных работ и заполнения жидким азотом цистерны высокого давления, входящей в состав газификатора ГШ-1. В дальнейшем работа шахтного газификатора жидкого азота ГШ-1 заключается в создании необходимого давления в цистерне высокого давления, включения вентилятора и подачи жидкого азота в испаритель.

После опорожнения цистерны ЦТК немедленно отправляются на поверхность для последующей заправки и возврата к месту газификации.

Выпуск азота начинают после завершения всех подготовительных работ по изоляции пожарного участка или тупиковой выработки. Во время выпуска



осуществляется систематический контроль за исправностью трубопроводов и газовой обстановкой изолируемого объема. Интенсивность выпуска может быть снижена, если утечки воздуха через перемычки не будут превышать 30% принятого расхода, и он обеспечивает поддержание инертной среды в изолируемом объеме.

Порядок закрытия пожарного участка с применением азота зависит от выбранного способа его подачи. В тех случаях, когда выпуск газа осуществляется при закрытом проеме в перемычке на поступающей струе и открытом на исходящей, закрывание участка производится в следующем порядке:

1) Начинают выпуск азота и закрывают проем в перемычке на поступающей струе воздуха;

2) Отбирают дистанционно пробы газовой смеси для последующего анализа в лаборатории и производят экспресс-методами расчеты содержания горючих компонентов в атмосфере изолированного участка;

3) По истечении расчетного времени выпуска закрывают дистанционно или вручную (при отсутствии опасного взрыва) вентиляционный проем в перемычке на исходящей струе;

4) Когда результаты анализа проб свидетельствуют о взрывобезопасности состоянии атмосферы в изолированном объеме, посылают отделение для герметизации перемычек, а также для снятия на участке депрессии;

5) Снижают интенсивность выпуска азота до пределов, обеспечивающих поддержание взрывобезопасности.

В тех случаях, когда выпуск азота осуществляется при закрытых проемах, проводятся аналогичные работы, но проемы в перемычках закрываются одновременно.

Затем производят окончательную изоляцию следующим образом:

1) Закрывают кирпичом или шлакоблоком проемы в перемычках;

- 2) Производят герметизацию изолирующих перемычек;
- 3) Сооружают на поступающей и исходящей струях взрывоустойчивые перемычки;
- 4) Сооружают вторые постоянные изолирующие перемычки в выработках с поступающей и исходящей струями.

При этом систематически производится дистанционный отбор проб газовой смеси в контрольных сечениях и осуществляется выпуск азота с дебитом, обеспечивающим в изолированном пространстве взрывобезопасное соотношение газов.

Выпуск азота прекращается после завершения всех работ по окончательной изоляции участка. После включения автогазификаторов трубопровод закрывается заглушкой.

Отбор и анализ проб воздуха из-за перемычек производится до полной ликвидации пожара.

#### *3.4. Применение азота с другими средствами пожаротушения*

Наиболее широкое применение азот получил при тушении и предупреждении подземных пожаров на пластах, склонных к самовозгоранию, с помощью инертно-механической пены и вспенено глиняной пульпы, подаваемых по скважинам с поверхности.

Сущность этого способа заключается в том, что газообразный азот подается в поток водного раствора (пульпы) с пенообразователем, перемешивается с ним и образует пену, что позволяет транспортировать ее под избыточным давлением по трубам, пожарным рукавам и скважинам.

Полученная инертная пена применяется для тушения пожара в труднодоступных местах или профилактики эндогенных пожаров в выработанном пространстве.

Время заполнения определенного объема выработок, объем пены, пульпы, воды и пенообразователя рассчитываются по формулам:

$$t = C_v \ln \frac{QC_v}{QC_v - V} ;$$

$$V = \varepsilon \cdot L \cdot H \cdot m ;$$

$$V_n = Q \cdot t$$

$$V_p = V_n \cdot k^{-1} ;$$

$$V_{no} = \frac{C \cdot V_p}{100}$$

где  $t$  – время заполнения зоны обработки, ч;

$C_v$  – стойкость инертной пены, ч;

$Q$  – производительность пеногенерирующего устройства, м<sup>3</sup>;

$V_n$  – объем пены, м<sup>3</sup>;

$\varepsilon$  – пористость обрушенных пород (принимается  $\varepsilon = 0,5$ );

$L$  – размер обрабатываемой зоны по простиранию, м;

$H$  – размер обрабатываемой зоны по падению, м;

$m$  – мощность пласта, м;

$V_p$  – объем воды (пульпы), м<sup>3</sup>;

$C$  – оптимальное содержание пенообразователя, %.

Оптимальное содержание пенообразователей ПО-1Д, «Прогресс-30» соответственно равны 1,0...2,0% и 0,5...1,5%. Соотношение твердого компонента (глины) к жидкому (вода) в пульпе следует принимать равным 1:4 или 1:5 (по весу).

Кратность инертной пены зависит от температуры, поступающей к генератору пульпы (воды) и отводимой от него пены

$$k = 1 + \frac{p_v C_v (T_v - T)}{P_0 [r + C_a (T - T_{жа})]} ,$$

где  $p_v$  – плотность воды (пульпы), кг/м<sup>3</sup>;

$T_v$  – температура воды (пульпы), К;

$T$  – температура пены, К;

$\rho_0$  – плотность газообразного азота, кг/м<sup>3</sup>;

$r$  – теплота испарения жидкого азота, кДж/К;

$C_a$  – теплоемкость газообразного азота, кДж/(кг·К);

$T_{жа}$  – температура жидкого азота, К.

Для случая  $T_b = 293$  К,  $T = 278$  К кратность пены равна 124.

Обработка выработанного пространства осуществляется равномерно по всей длине поля путем подачи одинакового объема пены в каждую скважину. Скважины бурят в зону обрушения пород на 20 м выше отметки основного штрека отработанного горизонта.

Объем пены, поданной в скважину, определяется из выражения

$$V_{п} = \beta \cdot Q_a,$$

где  $\beta$  – коэффициент газификации;  $\beta = 860$  м<sup>3</sup>/т;

$Q_a$  – масса израсходованного азота, (определяется по указателю уровня жидкого азота в цистерне).

Рекомендуется одновременная подача пены в две соседние скважины. Работы по подаче пены ведутся непрерывно. При тушении эндогенных пожаров после прекращения подачи пены в выработанное пространство действующего горизонта в те же скважины осуществляется нагнетание жидкого азота. Подача азота ведется из расчета одноразовой замены газа в объеме пустот обрушенных пород вышележащего горизонта. Ориентировочный расход жидкого азота на обработку определяется по формуле

$$Q_a = \frac{0,5 \cdot L \cdot H \cdot m}{\beta}$$

Расход жидкого азота на каждую скважину принимается одинаковым. Одновременно с обработкой пеной рекомендуется бесперебойная подача жидкого азота до завершения всего объема работ в выемочном поле.

Контроль за ходом тушения пожара с применением пены и жидкого азота ведется путем замера температуры и анализа состава газов в контрольных точках (скважины с поверхности и со сближенного пласта,

изолирующие перемычки). По результатам контроля определяется необходимость повторной подачи пены и азота или возможность вскрытия участка.

Для осуществления указанного метода тушения пожаров необходимо иметь буровые станки для бурения скважин с поверхности типа СБА-500, трубы обсадные диаметром 80 или 100 мм, установку типа «Зонд», генераторы инертной пены типа ГПА-1 или УИП, цистерны для транспортирования жидкого азота типа ЦТК-0,5/0,25 или ЦТК-8/0,25, устройство запуска жидкого азота УЗА-1, пенообразователь.

После обработки выработанного пространства действующего горизонта инертной пены (пульпой) пеногенератор отключается, а на обсадную трубу крепится устройство УЗА-1 с накидной гайкой для подсоединения сильфонного шланга. Нагнетание жидкого азота в скважину ведется под давлением до 0,2 МПа.

Централизованная подача инертной пены и азота по групповым скважинам требует подземной разводки трубопроводов от групповой скважины до скважин, пробуренных из близлежащих выработок. Диаметр этих трубопроводов должен быть равным 80-100 мм. Глубина обсадки скважин не менее 4,0 м. Она определяется размером трещиноватой зоны у выработки, из которой пробурена скважина.

Обработка выработанного пространства действующего горизонта инертной пеной по групповым скважинам, как и по скважинам с поверхности, ведется из расчета заполнения всех пустот в направлении от границ выемочного поля к квершлагу. После запуска пены эти скважины используются для подачи газообразного азота. Расчет необходимого количества пенообразователя и азота ведется по зависимостям (3.5) и (3.7). Технологическая схема реализуется при наличии газификационных установок типа АГУ-8к. Для бурения подземных скважин в этом случае используются буровые станки СБГ-1м. Подача жидкого азота

непосредственно в групповую скважину и подземные трубопроводы не рекомендуется из-за возможного разрушения стыковых соединений.

В случае возникновения очагов самовозгорания в куполах у выработок или в выработанном пространстве ограниченных размеров возможна оперативная или ликвидация только при наличии подземных скважин или пожарных пик. Для этого необходимы: буровые станки СБГ-1м; пожарные пики ПРЛ; обсадные трубы диаметром 80 мм; установки для транспортирования жидкого азота в шахте УТЖА-2; генераторы инертной пены ГПА-1; устройства УЗА-1; пенообразователь; водяной трубопровод или пульпопровод у места работы, рассчитанный на давление не менее 0,4 МПа.

Нагнетание инертной пены или вспененной глинистой пульпы ведется до окончания тушения. Если факт тушения и остывания очага пожара установить невозможно, нагнетание производят из расчета полного заполнения купола.

Подается жидкий азот по данной технологической схеме, в основном для принудительного выноса остаточных индикаторных газов. При этом всегда необходимо учитывать возможность всплеска содержания горючих газов по фронту распространения азота за счет увеличения его объема при газификации более чем в 800 раз.

После создания инертной среды возникает необходимость в проведении работ в изолированном объеме. При сокращении объема изолированного участка необходимо подготовить вруб под новую переемычку, доставить материалы и оборудование, пробурить шпуры или скважины, установить вентилятор для создания рециркуляции пожарных газов. Применение электроэнергии или сжатого воздуха по условиям безопасности в таких случаях недопустимо.

Для обеспечения работы серийно выпускаемого пневмоинструмента (отбойный молоток, перфоратор, пневмосверло, пневмопила, пневмовентилятор) при ведении горноспасательных работ в изолированном участке используется энергия сжатого газообразного азота.

Количество жидкого азота, необходимого для обеспечения работы пневмоинструмента и оборудования, подсчитывается по формуле

$$Q_a = \frac{(q_{u1} + q_{u2} + \dots + q_{un}) t_p k}{\beta},$$

где  $Q_a$  – количества жидкого азота, т;

$q_{u1}, q_{u2}, \dots, q_{un}$  – расход газообразного азота при одновременной работе различных типов пневмоинструмента и пневмооборудования, м<sup>3</sup>/мин;

$t_p$  – время непрерывной работы пневмоинструмента и пневмооборудования, мин;

$k$  – коэффициент, учитывающий потери при транспортировке жидкого азота с завода или хранилища до шахты, его испарения при подаче по шахтным трубопроводам от газификаторов до пожарного участка,  $k = 1,5$ ;

$\beta$  – коэффициент газификации жидкого азота,  $\beta = 860$  м<sup>3</sup>/т.

Необходимое давление газообразного азота в начале трубопровода складывается из назначения рабочего давления пневмоустановок и потерь давления в трубопроводе, которые определяются по методике, приведенной в п.3.5.

### *3.5. Методика расчета параметров выпуска газообразного азота в аварийный участок и тупиковую выработку*

Расчет позволяет определить расход газообразного азота при его выпуске в изолируемый объем, время инертизации среды за счет снижения содержания кислорода до 10% и общее количество азота на период ликвидации аварии. В расчетах принимается, что содержание азота в месте выпуска все время поддерживается на уровне не менее 95%

#### *3.5.1. Выпуск азота в участки, проветриваемые за счет общешахтной депрессии*

Расчет составлен для случаев выпуска азота со стороны, поступающей в пожарный участок вентиляционной струи при пологом, наклонном или

крутом залегании пластов. Расстояние от места выпуска азота до очага пожара не должно превышать 1000 м.

Исходными данными для расчета параметров выпуска азота в участок являются:

$Q$  – расход воздуха, поступающего на участок в нормальном режиме проветривания, м<sup>3</sup>/мин;

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

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

$S$  – средняя площадь сечения выработок, м<sup>2</sup>;

Порядок расчета следующий:

определяется расход азота  $q_1$  (м<sup>3</sup>/мин); необходимый для создания взрывоопасной среды

$$q_1 = \frac{C \cdot Q}{10 - C};$$

определяется расход азота (м<sup>3</sup>/мин), необходимый для инертизации атмосферы всего участка

$$q_2 = 0,03L \cdot \sqrt{S};$$

выбирается из двух расчетных значений расхода азота максимальное значение

$$q = \max(q_1, q_2);$$

находится время  $t$  (мин) заполнения выработок участка азотом

$$t = \frac{S(260 + 0,84 \cdot L)}{q};$$

определяется общее количество газообразного азота  $Q_r$  (м<sup>3</sup>), которое необходимо выпустить в аварийный участок

$$Q_r = q \cdot t;$$



определяется общее количество жидкого азота  $Q_{ж}$ (кг) в пересчете с газообразного

$$Q_{ж} = 0,0012 \cdot k \cdot Q_{г} ,$$

где  $k$  – коэффициент, учитывающий потери при транспортировании жидкого азота с завода или из хранилища до шахты, его испарении при подаче по шахтным трубопроводам от газификаторов до пожарного участка (принимается равным 1.5).

**Пример 1.** Определить параметры выпуска азота в изолируемый пожарный участок, используя следующие исходные данные:

$$Q = 800 \text{ м}^3/\text{мин}; C = 1,2 \% ; L = 600 \text{ м}; S = 7 \text{ м}^2.$$

**Решение.** По формуле (3.9) находим, что

$$q_2 = 0,03 \cdot 600 \cdot \sqrt{7} = 48 \text{ м}^3 / \text{мин}$$

Выбираем согласно выражение (3.11) из двух расчетных значений расхода азота максимальное

$$q = \max(109; 48) = 109 \text{ м}^3 / \text{мин}$$

Находим время заполнения выработок участка азотом по формуле (3.12)

$$t = \frac{7(260 + 0,84 \cdot 600)}{109} = 49 \text{ мин}$$

Определяем общее количество газообразного азота по формуле (3.13)

$$Q_{г} = 109 \cdot 49 = 5341 \text{ м}^3.$$

Определяем общее количество жидкого азота по формуле (3.14)

$$Q_{ж} = 0,0012 \cdot 1,5 \cdot 5341 = 9,6 \text{ Т}$$

### *3.6. Применение газоразделительных мембранных модулей для создания инертной среды в пожарных участках*

Практика борьбы с подземными пожарами в Украине и за рубежом показала, что для инертизации атмосферы изолированных пожарных участков и снижения концентрации кислорода в очаге горения целесообразно

применять газообразный азот. При этом представляет особый интерес использование современных газоразделительных установок непрерывного действия для получения азота непосредственно из шахтного воздуха. По сравнению с традиционными способами получения азота мембранная технология имеет ряд существенных преимуществ, заключающихся в отсутствии фазовых переходов, химических изменений состава разделяемых компонентов, тепловых и динамических нагрузок. Мембранные установки просты и надежны в эксплуатации, отличаются экономичностью, что обуславливает особый интерес горноспасателей к возможности их использования для локализации пожаров. Вместе с тем, в настоящее время, в Украине отсутствуют шахтные газоразделительные установки, а также нет научно-обоснованной методики расчета их параметров. Поэтому в данной статье приведено обоснование параметров таких установок.

В общем виде процесс разделения газовых смесей с помощью селективно проницаемых мембран можно представить в виде трех потоков: потока, входящего в мембрану  $J_0$ , потока, проходящего через мембрану (пермеат)  $J_1'$ , и потока, отходящего от мембраны (ретант)  $J'$ .

Элементарная ячейка асимметричной мембраны для газоразделения (рис. 3.3.) состоит из диффузионного слоя 1, пористого подслоя 2, пористой подложки 3 и клапанов в подложке 4. Проникающий газовый поток протекает через диффузионный слой перпендикулярно мембране, затем диффундирует через пористые слои мембраны и подложки и далее по каналам подложки направляется к коллектору.

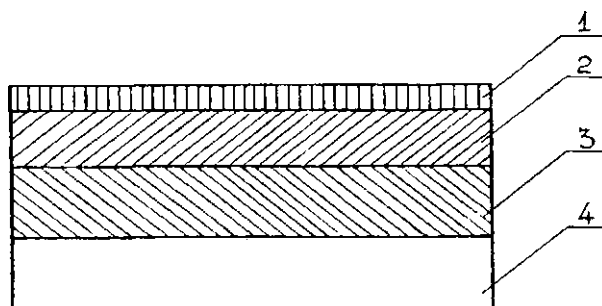


Рис. 3.3. - Элементарная ячейка асимметричной мембраны

1 - диффузионный слой , 2 - пористый подслой, 3 - пористая подложка 3,4- клапан в подложке.

Разделяющую способность мембраны принято характеризовать значением селективности R [1].

$$R = \frac{C_2 - C_2'}{C_2} \cdot 100\%$$

где -  $C_2$  - содержание задерживаемого вещества в потоке,  $J_0$ , %;

$C_2'$  - содержание этого же вещества в поступающем потоке  $J_1'$ , %.

Кроме того, разделяющую способность мембран можно охарактеризовать величиной фактора разделения, представляющего собой отношение проходящих через мембрану потоков двух компонентов разделяемой системы

$$F = J_1 / J_2$$

где:  $J_1$  - расход воздуха, проходящего через мембрану, %;

$J_2$  - расход азота, выходящего из мембраны, %;

Наряду с указанными характеристиками мембраны процесс мембранного разделения определяется коэффициентом проницаемости  $\rho$

$$\rho = \frac{\Delta Q \cdot \delta}{S \cdot \Delta t \cdot (P_1 - P_2)}, \text{ м} \cdot \text{м}^3 / (\text{м}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{Па}),$$

где  $\Delta Q$ - объем проникшего через мембрану газа,  $\text{м}^3$ ;

$\delta$  - толщина мембраны, м;

$S$  - площадь мембраны,  $\text{м}^2$ ;

$\Delta t$  - время проникновения, с;

$P_1, P_2$  - давление по разные стороны мембраны, МПа.

Согласно теоретическим исследованиям диффузионное проникновение через тонкие мембраны представляют собой сложный процесс, включающий следующие стадии [1]:

- абсорбцию газа на поверхности мембраны;

- растворение газа на поверхности мембраны;
- активную диффузию газа через мембрану;
- выделение газа из раствора на противоположной поверхности;
- десорбцию газа с обратной стороны мембраны.

Считается, что газы через мембраны проникают в молекулярной форме, при этом степень проницаемости для различных газов различная. Движущей силой процесса газоразделения на полимерных мембранах является разность парциальных давлений компонентов газовой смеси между обеими сторонами мембраны, которая для 1 - компонентов может быть выражена в виде [2]:

$$\Delta P_i = P_B \cdot x_i \cdot P_n \cdot y_i ; \quad \text{МПа}$$

где  $P_B, P_n$  - давление газовой смеси над и под мембраной, МПа;

$x_i, y_i$ ; - содержание  $i$  - компонентов в исходной смеси и в продукте соответственно, %.

Движущая сила характеризует скорость проникания  $i$  - компонента через пленку, которая определяется из выражения [121]:

$$V_i = P_i \cdot \Delta P_i, \quad \text{Нм}^2/\text{м}^2\text{с}$$

Изучение разделения газовых смесей с помощью мембран привело к созданию целого ряда различных методов расчета газоразделительных процессов. При применении асимметричных мембран, которые характеризуются высокой газопроницаемостью, процесс движения разделяемого потока приближается к поршневому. При этом скорость течения разделяемого газа в межэлементном пространстве достигает больших значений, что снижает обратное перемешивание и продольную молекулярную диффузию, направленную против движения разделяемого потока. Уравнение материального баланса общего расхода бинарной смеси мембранного аппарата имеет вид

$$G_H = G_k + g$$

где  $G_H$  - общий расход бинарной смеси,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$G_k$  - расход установки по ретанту,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$g$  - расход установки по пермеату, м /с.

Анализ уравнения [6] показывает, что для определения общего расхода бинарной смеси при заданном расходе установки по ретанту, необходимо знать расход по пермеату.

Расход установки по пермеату определяется решением системы дифференциальных уравнений, описывающих материальный баланс для элемента площади мембранного аппарата, предложенных Чекаловым Л.Н. и Талакиным О.Г. [3]

$$\begin{cases} -d(gx) = q_0 \cdot P \cdot dS (x - ry) \\ -[g(1 - y)] = q_0 \cdot P \cdot dS [1 - x - r(1 - y)] \end{cases}$$

где  $y$  - содержание отводимых газов в пермеате;

$x$  - содержание исходной смеси;

$q_c$ ,  $q_f$  - проницаемость соответственно по отводимому газу и флегматизатору,  $\text{м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{сек} \cdot \text{МПа}$ ;

$r$  - отношение величин давлений под и над мембраной;

$P$  - давление на мембране, МПа;

$S$  - площадь мембраны,  $\text{м}^2$ .

Для случая разделения газовой смеси, подаваемой с постоянным расходом и содержанием в ней отводимого газа, а также неизменной проницаемости мембранного аппарата система уравнений имеет вид:

$$\begin{cases} yg = q_0 \cdot P \cdot S (x - ry) \\ (1 - y) g = q_f \cdot P \cdot S [1 - x - r(1 - y)] \end{cases}$$

Зависимость расхода проникающего флегматизатора от содержания отводимой смеси, полученная из системы уравнений [7] имеет вид

$$g = \frac{q_0 \cdot P \cdot S (1 - r)}{F(1 - y) + y}$$

Однако при инертизации среды аварийного участка определяющей является концентрация кислорода и других отводимых газов в ретанте, а не в

пермеате. Связь этих концентраций описывается уравнением материального баланса кислорода в процессе газоразделения.

$$G_H x = G_k + gy$$

где  $z$  - концентрация кислорода и других газов в ретанте.

Используя уравнения [10] и [6] также можно определять расход проникающей газовой смеси

$$g = \frac{G_k(x-z)}{y-x}$$

Сравнивая уравнения [8] и [11] получим зависимость концентрации кислорода и других газов в пермеате от концентрации этой смеси в ретанте в виде

$$y = \frac{F \cdot G_k(x-z) + xq_0PS(1-r)}{G_k(F-1)(x-z) + q_0PS(1-r)}$$

Однако при решении практических задач по созданию инертной среды на аварийных участках в шахтах необходимо определить количество мембранных аппаратов для получения продукционного газа при заданной величине избыточного давления на мембране, равном давлению в пневмосети. В связи с этим возникает необходимость получить зависимость производительности мембранных установок по ретанту от площади проникновения и давления на мембране, при необходимом содержании кислорода и других газов в ретанте. Такая зависимость получена из уравнения [12]

$$G_k = \frac{q_0 \cdot P \cdot S(1-r)(x-y)}{(x-z)(yF - y - F)}$$

Используя формулы 6, 11, 12 и 13 при известной концентрации кислорода можно определить необходимый расход смеси, подаваемой на мембранную установку для получения необходимого расхода ретанта.

Таким образом, в результате решения системы уравнений, описывающей материальный баланс мембранного газоразделительного процесса, получена зависимость расхода проникшей газовой смеси от проницаемости мембраны и давления на ней. Полученная зависимость позволяет рассчитать расход исходной смеси газов, которую необходимо подать на мембрану для получения определенного расхода продукционного газа, а также определить площадь мембраны в зависимости от режима работы установки.

Экспериментальное определение параметров и отработка режимов работы передвижной шахтной мембранной газоразделительной установки проводилось в лабораторных и натуральных условиях.

Установка (рис.2) состоит из компрессора, дозатора пыли, увлажнителя воздуха, тканевого фильтра очистки воздуха, разделительного модуля МГА-20/0,9, системы трубопроводов с запорно-регулирующими задвижками, манометров, патрубков для отбора проб и ротаметров. Принцип работы установки заключается в селективном мембранном разделении воздуха на два потока - обогащенных соответственно кислородом и азотом. Для проникновения через мембрану воздух подается от компрессора под избыточным давлением. При этом измеряется расход воздуха, поступающего на вход газоразделительного аппарата, расход пермеата и ретанга, а также содержания кислорода в них.

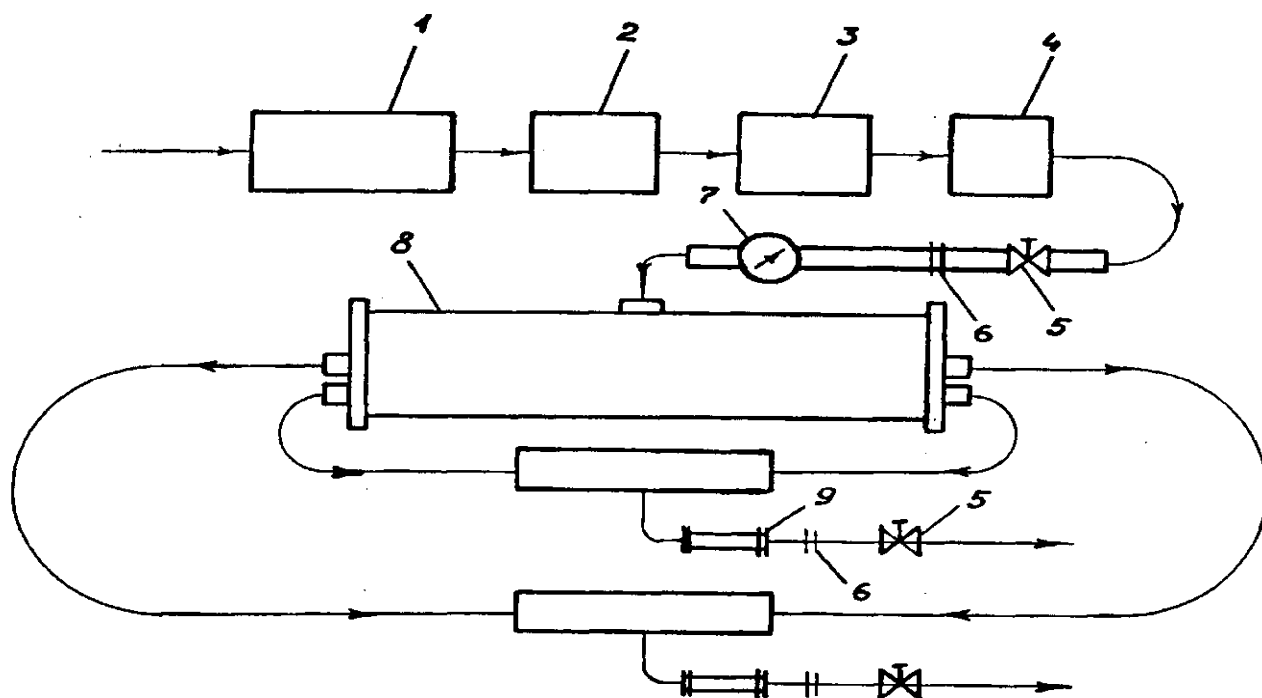


Рис. 3.5 Схема шахтной установки мембранного разделения воздуха

Методика проведения экспериментальных исследований сводилась к тому, что воздух, поступающий от компрессора, проходя через специальный дозатор «обогащался» угольной пылью, содержащей 80 % частиц крупностью 75 мкм, с выходом летучих веществ 26-28 и зольностью - 10 % . При этом запыленность воздуха на выходе из дозатора составляла 45...50 мг/м . Дополнительно увлажненный до 90-95 % воздух поступал на тканевый фильтр, а затем, после очистки, по системе трубопроводов направлялся в мембранный газоразделительный аппарат МГА-20/0,9, где разделялся в двух секциях на поток, обогащенный кислородом, и поток, обогащенный азотом. В процессе выполнения экспериментов измерялись расход и давление потока воздуха, поступающего в мембранный аппарат, расход и содержание кислорода и азота в пермеате, а также расход и содержание кислорода и азота в ретанте. Для замеров расходов воздуха, пермеата и ретанта применялись ротаметры типа РМ-40Г. Содержание кислорода в потоках определялось оксиметром «Охусош 25 Д» фирмы Дрегер, а также контролировалось хроматографическим способом в лабораторных условиях.



Первая серия экспериментов была проведена с целью отработки режимов работы установки и определения точности показаний контрольно-измерительной аппаратуры. При этом изменялось давление воздуха и измерялось содержания продуцируемых газов. Результаты экспериментов приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 - Результаты экспериментов

Давление входящего потока, МПа	Содержание газов, определяемых		
	оксиметром	хроматографом	
	O <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>
0,50	6,5	6,0	93,5
0,42	11,0	11,0	88,5
0,34	14,0	13,5	86,0
0,22	18,0	17,0	82,0
0,05	21,0	20,5	79,0

Как видно из приведенных данных, отклонения в результатах определения содержания кислорода в ретанте, полученных с помощью оксиметра, и хроматографическим методом отклоняются незначительно. При этом оксиметр дает завышенные данные, отклонения которых не превышает + 5,5 %. Кроме того, следует отметить, что с увеличением давления входящего потока содержание кислорода в ретанте снижается, а азота растет. Так, при давлении 0,5 МПа на исследуемой установке содержание кислорода в ретанте составляло 6,0, а азота - 93,5 %.

Отработка режимов работы установки показала, что контрольно-измерительная аппаратура, газоразделительный модуль и газопроводная арматура работали в нормальном режиме. Работа компрессора была надежной. Поэтому в процессе отработки режимов работы было найдено оптимальное давление равное 0,325-0,37 МПа, которое позволяло поддерживать расход сжатого воздуха в пределах 0,37-0,495 м<sup>3</sup>/мин при обеспечении необходимой безопасности работ. В этих условиях установка

проработала порядка 320 часов. При этом было произведено 35 единичных замеров параметров газоразделительной установки. Результаты этих замеров показали, что при выбранных режимах работы установка обеспечивала содержание кислорода в ретанте 11,5-13,0 % или 88,5-87 % азота. Следует отметить, что в начале исследований (эксперименты 1-12) содержание кислорода в ретанте колебалось в пределах 11,5-12,5 %, а затем начало расти и в конце выполнения работ возросло до 13 % (опыты 28-36). В дальнейшем режим работы газоразделительного модуля был изменен и аппарат МГА-20/0,9 проработал в течение длительного времени (около 200 часов), обеспечивая содержание азота, равное 99,0; 97,0 и 95,0 % при расходе ретанта 0,5; 1,66 и 4,15 м<sup>3</sup>/мин соответственно. При этом 168 часов непрерывной работы не оказали практически никакого влияния на параметры газоразделения.

Оценка адекватности экспериментальных данных расчетным, выполненная с помощью элементов математической статистики и теории надежности и полученные при этом удовлетворительные результаты дают возможность считать целесообразным использование мембранных установок разделения рудничного воздуха для получения азота непосредственно в шахтных условиях.

### *3.6.1. Выпуск азота в тупиковые выработки*

Расчет составлен для случаев выпуска азота за перемишку или в забой тупиковой выработки при различных углах ее наклона и длине до 1000 м.

Исходными данными для расчета параметров выпуска азота в тупиковые выработки являются:

$I_0, I$  – абсолютное газовыделение в тупиковой выработке в 10...20 м соответственно от забоя и от устья, м<sup>3</sup>/мин;

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

$H$  – высота выработки в 10...20 м от забоя, м;

$L$  – длина выработки от забоя до изолирующей перемычки, м;

$\delta$  – средняя скорость подвигания забоя за последние 5 месяцев, м/мес.

Дальнейший расчет производится по формулам (3.13) и (3.14).

Примечание. При проведении расчетов параметр  $V$  может быть более  $1000 \text{ м}^3/\text{мин}$ . Это будет указывать на то, что при выпуске азота за перемычку с любой производительностью невозможно за расчетное время  $t$  снизить содержание кислорода в изолированном объеме до 10 процентов. Тогда необходимо устанавливать перемычку от забоя выработки на расстоянии

$$l=31\sqrt{t}$$

либо производить выпуск азота в забой. Если ни то, ни другое мероприятие неосуществимо, можно подавать азот за перемычку дистанционно с безопасного расстояния до тех пор, пока содержание кислорода в тупиковой выработке не снизится до 10%. В этом случае время выпуска азота

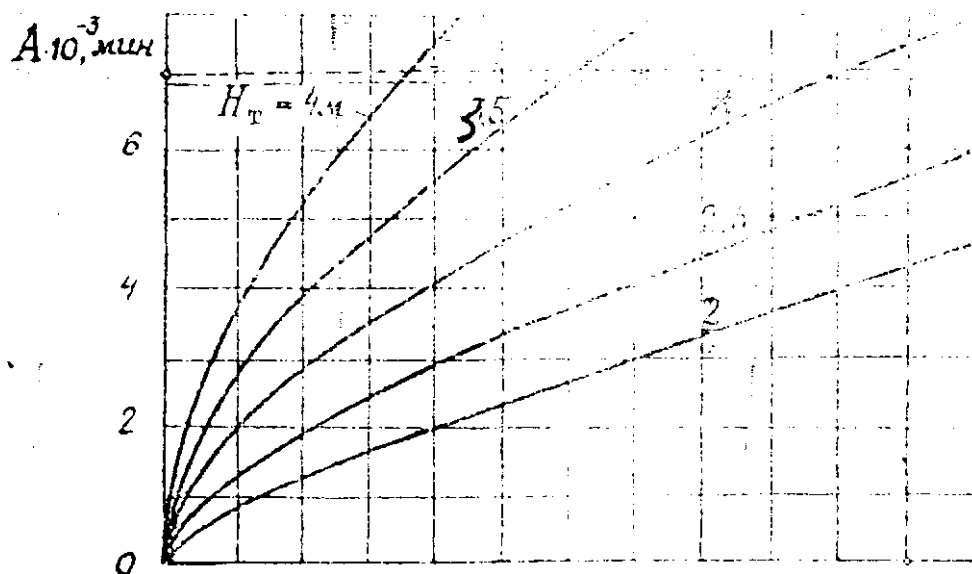


Рис. 3.6. Номограмма для определения времени загазирования метаном тупиковой выработки

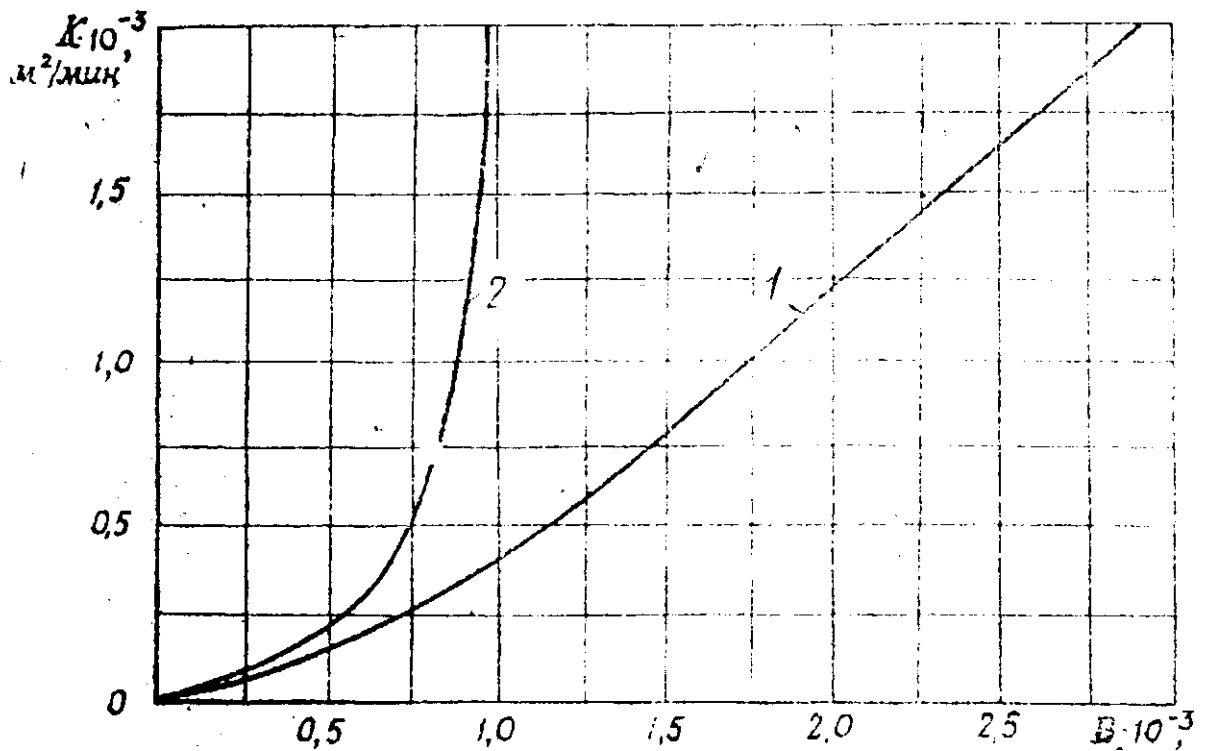


Рис.3.7. Номограмма для определения расхода азота при его подаче в забой;  
 (1) тупиковой выработки или за перемычку (2)

$$t_1 = 0,001l^2$$

при его расходе

$$q \geq \frac{2000S}{l}$$

В интервале времени  $\Delta t = t_1 - t$  газовая обстановка в тупиковой выработке будет взрывоопасной, так как содержание метана уже достигло 4% и продолжает нарастать, а содержание кислорода еще не снизилось до 10%. В этот период люди должны находиться на безопасном расстоянии от перемычки.

**Пример 2.** Определить параметры выпуска азота в изолированную тупиковую выработку, используя следующие исходные данные:

$$I_0 = 0,2 \text{ м}^3/\text{мин}; I = 0,3 \text{ м}^3/\text{мин}; S = 9 \text{ м}^2; H = 2,5 \text{ м}; l = 500 \text{ м}; v = 80 \text{ м/мес.}$$

Определяем по выражению (3.15) длину газоотдающей части выработки

$$l = \min(500; 5 \cdot 80) = 400 \text{ м}$$

по формуле (3.16) временной параметр

$$A = \frac{9 \cdot 400}{0,2 + 0,3} = 7200 \text{ мин};$$

находим для значений  $A = 7200$  мин  $H = 2,9$  м по номограмме (см. рис. 3.4) время образования взрывоопасной атмосферы в выработке  $t = 110$  мин;

определяем по формуле (3.17) отношение

$$B = 500^2 / 110 = 2,27 \cdot 10^3 \text{ м}^2/\text{мин}$$

так как  $B = 2,27 \cdot 10^3 > 1000 \text{ м}^2/\text{мин}$  выпуск азота будет производиться в забой выработки, поэтому по номограмме (см. рис. 3.5. кривая 1) находим параметр  $k = 1,42 \cdot 10^3 \text{ м}^2/\text{мин}$  и определяем расход азота

$$q = \frac{1,42 \cdot 10^3 \cdot 9}{500} = 25,6 \text{ м}^3 / \text{мин};$$

по формуле (3.13) определяем общее количество газообразного азота

$$Q_{\text{г}} = 25,6 \cdot 110 = 2816 \text{ м}^3;$$

по формуле (3.14) определяем общее количество жидкого азота с учетом его доставки

$$Q_{\text{ж}} = 0,0012 \cdot 1,5 \cdot 2816 = 5,07 \text{ т}$$

Для поддержания взрывобезопасной обстановки в изолированном объеме выпуска азота следует продолжить с той же или меньшей интенсивностью либо подавать его периодически, контролируя при этом содержание кислорода, и поддерживать его на уровне не более 10%. Поэтому необходимо предусмотреть дополнительное количество азота  $Q_{\text{д}}$ , которое определяется в зависимости от интенсивности и времени его дальнейшей подачи до погной ликвидации аварии.

Исходные данные для определения пропускной способности трубопровода:

$q$  – необходимая производительность азотной установки,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$L$  – длина трубопровода, км;

$P$  – максимально допустимое давление в трубопроводе, МПа.

Расчет производится с помощью номограммы, представленной на рис.

3.6., по заданным  $q$ ,  $L$  и  $P$  ходом ключа А-В-С.

Исходные данные для определения диаметра трубопровода:

$q$  – необходимая производительность азотной установки,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$L$  – длина трубопровода, км;

Расчет производится с помощью номограммы, представленной на рис.

3.7., по заданным  $q$  и  $L$  ходом ключа А-В-С. При этом значение диаметра  $D$  на шкале округляется до большего стандартного.

Исходные данные для определения потерь давления в трубопроводе:

$d$  – диаметр трубопровода, мм

$q$  – необходимая производительность азотной установки,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$L$  – длина трубопровода, км;

Порядок расчета

Таблица 3.2

Значение коэффициента  $k$ , соответствующее заданному диаметру  
трубопровода

$d$ , мм	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300
$k$	320	38	8,4	2,6	1	0,45	0,22	0,12	0,069	0,042	0,267

Определяется приведенная длина трубопровода  $L_{\text{пр}}$ (км) по формуле,  
 $L_{\text{пр}} = L \cdot k$ .

По номограмме (рис. 3.8), зная значения  $L_{\text{пр}}$  и  $k$ , ходом ключа А-В-С можно определить искомые потери  $P$  (МПа).

**Пример 1.** Произвести расчет трубопровода для подачи в пожарный участок азота с интенсивностью  $40 \text{ м}^3/\text{мин}$ , если расстояние до места выпуска  $L = 1,8$  км, а для имеющегося трубопровода допустимое давление  $p=1,5$  МПа.

**Решение.** Определим пропускную способность имеющегося трубопровода. Так как  $q = 40 \text{ м}^3/\text{мин} = 2,3 \text{ м}^3/\text{с}$ , то для расчета используем номограмму (см. рис. 3.6, а). На оси OL определяем положение точки А с координатой 1,8 км. Через точку А проводим линию АВ параллельно Оq до пересечения с кривой, соответствующей давлению 1,5 МПа.

Положение этой кривой определяем интерполированием. Затем через точку В проводим параллельно OL линию до пересечения со шкалой q в точке С с координатой  $q = 1,2 \text{ м}^3/\text{с}$ .

Эта пропускная способность меньше требуемой, значит для дополнительной подачи азота с интенсивностью  $q = 2 - 1,2 = 0,8 \text{ м}^3/\text{с}$  следует продолжить дополнительный трубопровод длиной 1,8 км. Диаметр этого трубопровода согласно номограмме (см. рис. 3.7) должен быть в пределах от 0,05 до 0,01 м, принимаем  $D = 0,1$ .

Таким образом, для обеспечения подачи азота в пожарный участок с интенсивностью  $q = 40 \text{ м}^3/\text{мин}$  наряду с имеющимся трубопроводом следует продолжить дополнительный трубопровод диаметром 0,1 м.

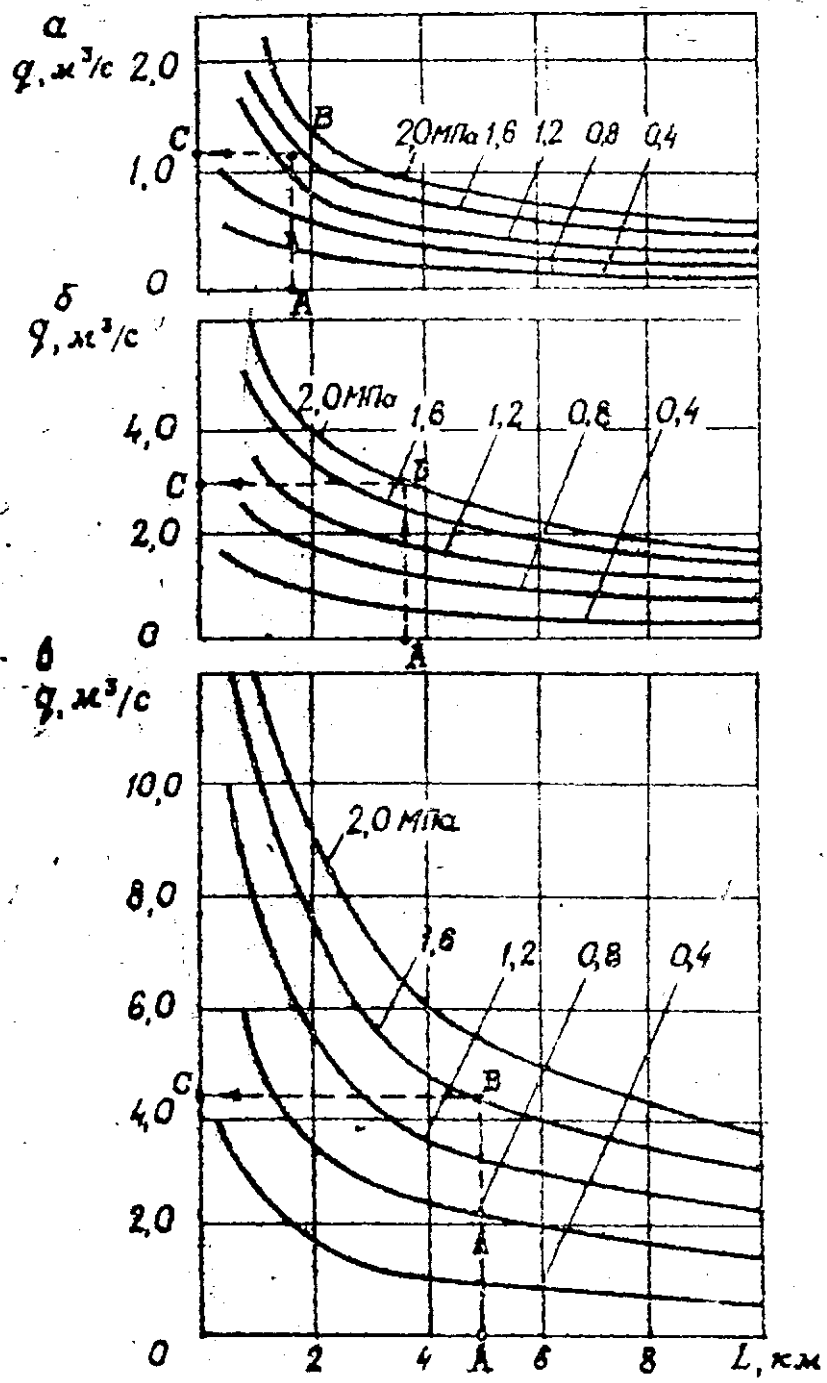


Рис. 3.8. Номограмма для определения пропускной способности

трубопровода:

а –  $q$  до  $2 \text{ м}^3/\text{с}$ ; б -  $q$  до  $5 \text{ м}^3/\text{с}$ ;

в -  $q$  до  $11 \text{ м}^3/\text{с}$



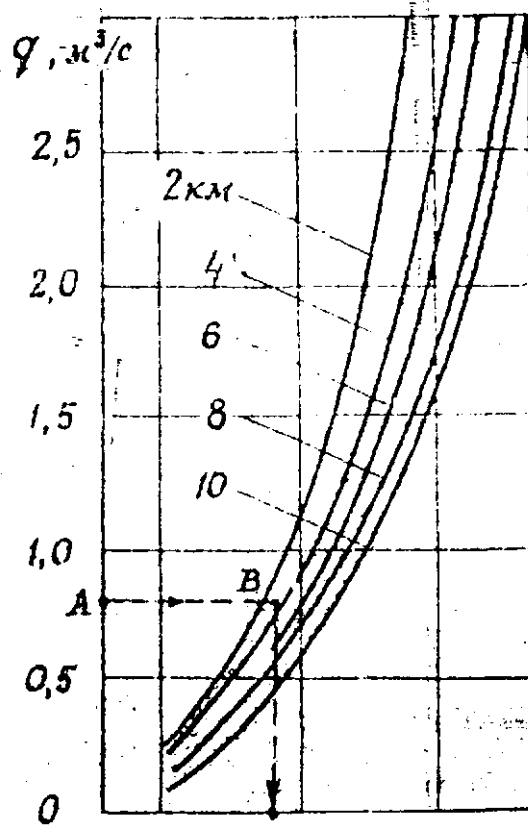


Рис. 3.9. Номограмма для определения диаметра трубопровода

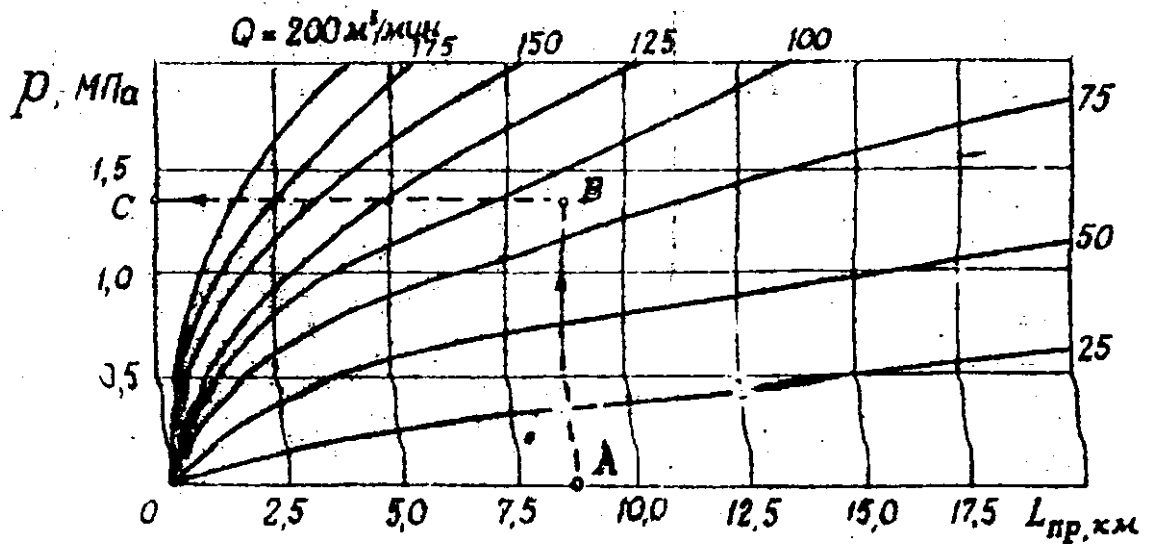


Рис. 3.10. Номограмма для определения потерь давления в

**Пример 2.** Определить потери давления в трубопроводе длиной 1000 м и диаметром  $d = 100$  мм, если по нему подавать  $100 \text{ м}^3/\text{мин}$  азота.

**Решение.** По табл. 3.1. находим  $k = 8,4$ , тогда  $L_{\text{пр}} = 1000 \cdot 8,4 = 8400 \text{ м} = 8,4 \text{ км}$ . В соответствии с номограммой (см. рис. 3.8) получим потери 1,43 МПа.

### **3.7. Меры безопасности**

Обслуживание газификационных установок и станций производится лицами, обученными по специальной программе, учитывающий специфику работ с криогенной техникой и пенообразователями, а их электрооборудования согласно «Правилам технической эксплуатации электроустановок потребителей» и «Правилам устройств электроустановок».

Площадка, приготовленная на поверхности у скважин, должна обеспечивать устойчивое положение цистерн и газификационных установок, при этом наклон цистерн без выплескивания жидкого азота не должен превышать в продольном направлении  $30^\circ$ , в поперечном –  $15^\circ$ .

Транспортировка цистерн, наполненных жидким азотом, в подземных условиях производится электровозом со скоростью движения не выше  $5 \text{ км/ч}$  и под наблюдением ответственного лица. Путь движения состава должен быть свободным, исключая соприкосновение с крепью и посторонними предметами. Места хранения, выдачи и газификации жидкого азота в подземных условиях необходимо интенсивно проветривать.

При монтаже и эксплуатации оборудования для подачи газообразного азота или инертной пены по скважинам запрещается бурение и применение открытого огня. Сварочные работы необходимо производить в соответствии со специальным планом мероприятий, утвержденным директором (главным инженером) шахты только на принимающих воздух скважинах. При этом они должны быть перекрыты и засыпаны песком.

При подаче газифицированного азота по шахтным трубопроводам на пути его движения необходимо осуществлять контроль за отсутствием утечек. При возникновении утечек азота его подачу следует прекратить.

Устранение течи жидкого азота производить только после сброса давления в цистерне и в трубопроводах.

Локализацию пожаров в действующих выемочных полях с применением инертных цен и жидкого азота производить по оперативному плану ликвидации аварии, подписанному ответственным руководителем по ликвидации аварии и руководителем горноспасательных работ.

При тушении эндогенных пожаров с неизвестным местонахождением очагов в выработанном пространстве путем их продувки инертным газом допускается использование только азота первого и второго сорта (не менее 99,0% азота). Азот третьего сорта, содержащий в виде примеси 3% кислорода, можно использовать в ходе профилактики эндогенных пожаров, а также для выноса остаточных пожарных газов с применением азота следует вести, предварительно связывая его с пеной.

При подаче газообразного азота, инертной пены или жидкого азота в изолированный пожарный участок необходимо учитывать возможное увеличение содержания пожарных газов по фронту распространения пены и азота. В местах аэродинамической связи аварийного участка с действующими выработками должен осуществляться контроль за газовой обстановкой экспресс-методами и с помощью лабораторного анализа.

При наличии окиси углерода на рабочих местах в пределах санитарной нормы работы по локализации пожара производятся силами шахты. В случае повышенного содержания окиси углерода или угрозы превышения санитарной нормы работы по локализации пожара вести силами шахты и ВГСЧ. При этом работники шахты должны находиться в выработках со свежей струей.

Лица, непосредственно участвующие в выпуске азота, инертной пены, а также в работе с пенообразователями и их растворами, должны работать в

спецодежде, защитных очках и рукавицах. При попадании пенообразователей и их растворов на слизистую оболочку глаза необходимо обильно промывать их физиологическим раствором или чистой водой. При загрязнении пенообразователями кожного покрова следует обмыть его чистой водой.

## 4. ТЕХНОЛОГИЯ ТУШЕНИЯ И ЛОКАЛИЗАЦИИ ПОДЗЕМНЫХ ПОЖАРОВ ПЕНОЙ

### 4.1. Общие рекомендации

Успех тушения подземного пожара воздушно-механической или инертной пеной в значительной степени зависит от правильной оценки аварийной обстановки на пожарном участке, а также своевременного и оперативного применения пены.

Для разработки оперативного плана в зависимости от места очага пожара необходимо:

определить наличие, работоспособность и параметры (расход и напор воды) пожарно-оросительного трубопровода на участке;

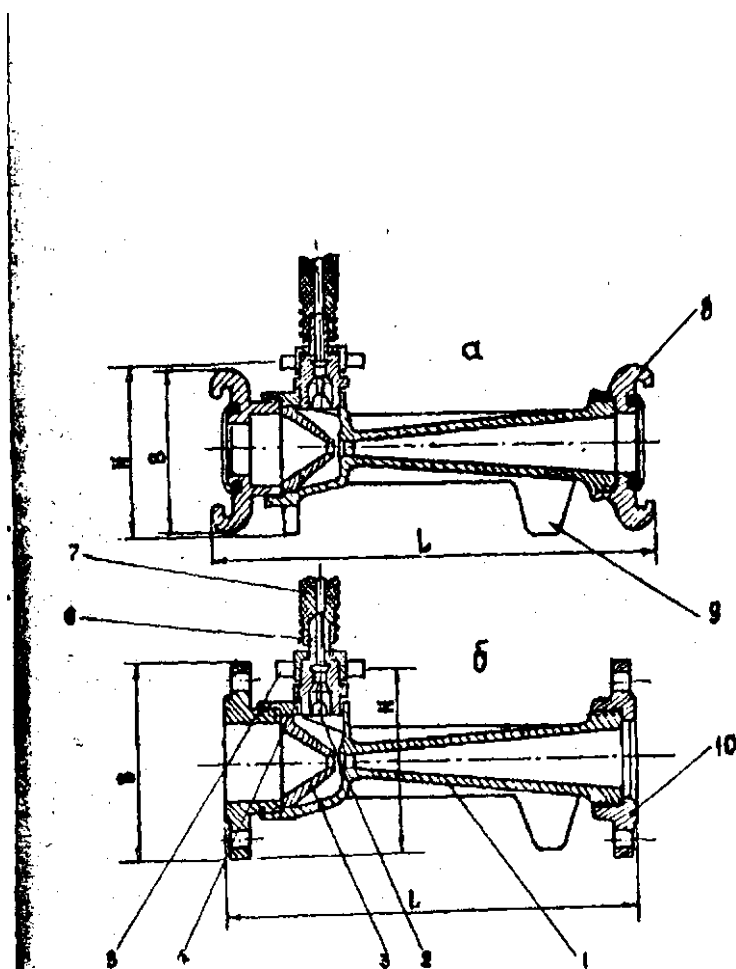


Рис 4.1. Пеносмеситель ПС:

а - 1-е пополнение; б - 2-е пополнение корпус,  
1 – корпус; 2 - клапан обратный; 3 - сопло; 4 - штуцер;  
5 - гайка накидная; 6 - ниппель; 7 - рукав всасывающий

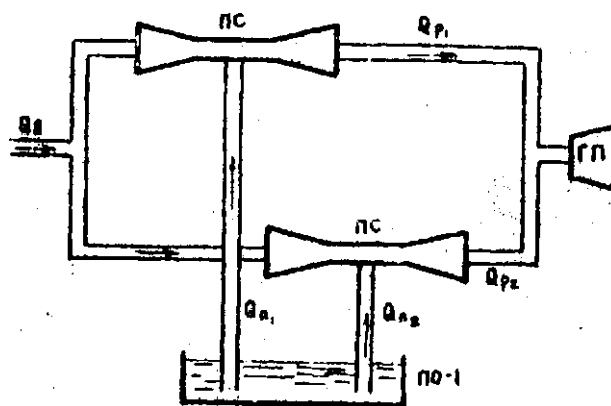


Рис.4.2. Схемы включения пеносмесителей типа ПС в системы получения огнетушащей пены при подземном, пожаротушении:

- а - при применении одного пеносмесителя;  
 б - при применении параллельно включенных пеносмесителей.

выбрать в зависимости от горно-технических условий пеногенераторную технику, определить место установки и подключения и накатить путь быстрой её доставки;

разработать порядок и график доставки пенообразователя для бесперебойной работы пеногенератора;

определить места установок пеноупорных перемычек для изоляции и оконтуривания горных выработок, подлежащих заполнению пеной;

определить места и направление бурения скважин в верхнюю часть купола обрушения или в зону очага пожара в выработанном пространстве.

иметь сведения о целостности и герметичности вентиляционных труб при подаче по ним пены в тупиковую выработку.

Во всех случаях тушения подземных пожаров пеной необходимо обеспечивать бесперебойную её подачу до исчезновения явных признаков активного горения (дыма, высокой температуры, окиси углерода) и охлаждения боковых пород до температуры, позволяющей произвести разведку (время охлаждения определяется расчетом).

Особое внимание следует уделять проветриванию аварийного участка, так как заполнение выработок пеной приводит к уменьшению количества поступающего воздуха.

Если вентиляционный режим в период применения пены не обеспечивает устойчивого проветривания аварийного участка и на исходящей струе создается опасное скопление метана (свыше 2%), необходимо прекратить подачу пены, восстановить прежний вентиляционный режим и применять другие средства тушения.

#### 4.2. Тушение пожаров в горизонтальных выработках, проветриваемых за счет общешахтной депрессии

Рекомендуются:

пена – высокократная;

пеногенераторная техника - ПГП-8, ППУ "Буря", ПШ (ПГВ-3м, ПГУ-200), пеносмеситель – ПС-2;

пенообразователи - "Сампо" или ПО-1, ПО-1А, ПО-1Д, ПО-6К.

Тушение подземных пожаров в горизонтальных выработках необходимо производить со стороны свежей струи. Пеногенераторную технику следует по возможности устанавливать ближе к горячей части выработки. Максимальная дальность подачи пены с помощью рекомендуемой пеногенераторной техники (ППУ и ПШ) по выработкам с различными площадями поперечного сечения определяется по табл.4.1.

Таблица 4.1

Максимальная дальность подачи пены по горизонтальной горным выработкам с различными площадями поперечного сечения с помощью пеногенераторов ППУ "Буря" и ПШ

Площадь поперечного сечения выработки S, м <sup>2</sup>	Максимальная дальность подачи пены	
	ППУ «Буря»	ПШ (ПГВ-3м, ПГУ-200)
6,0	400	70
7,0	500	80
8,0	600	90
9,0	700	100
10,0	700	110
11,0	700	120
12,0	800	120

Пену в горизонтальных выработках необходимо подавать за герметичную перемычку с проемом для пеногенератора, исключаящую выход пены в сторону пеногенераторной установки. Рекомендуется дощатая перемычка, обвитая со стороны свежей струи полиэтиленовой пленкой и усиленная стояками.

При применении пеногенератора ПШ возможны следующие варианты его установки в горной выработке (рис.20);

пеногенератор совместно с вентилятором располагают в проеме перемычки;

пеногенератор по-прежнему располагают в проеме перемычки, а вентилятор устанавливают у пусковой аппаратуры и воздух подают к пеногенератору по вентиляционным трубам длиной не более 100 м.

При применении порошково-пенной установки ППУ «Буря» необходимо подать на очаг пожара огнетушащий порошок до прекращения пламенного горения, затем выключить установку, снять конус и подсоединить самоуплотняющуюся перемычку. Включить вентилятор и не запуская, пену, установить перемычку (в соответствии с "Техническим описанием и правилами эксплуатации"), а затем запустить пену (рис.21). По мере движения пенного потока увеличивается статистическое давление в перемычке, в результате чего её герметичность увеличивается.

При отсутствии возможности транспортирования установки к очагу пожара, например, из-за отсутствия колеи, порошок и пену



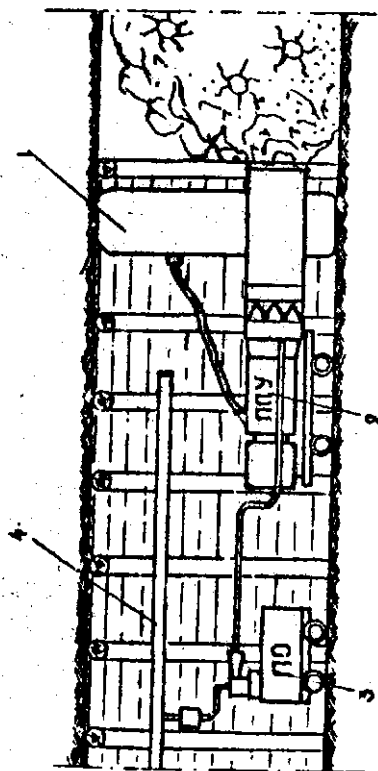


Рис. 21. Применяемая установка ШУ "Буря" при тушении пожара в горизонтальной горной выработке:

- 1 - самоуправляющаяся воздушная установка;
- 2 - порошково-пыльная установка ШУ "Буря";
- 3 - ёмкость с пенообразователем;
- 4 - пневматический трубопровод

можно подать по вентиляционным трубам диаметром 600 мм на расстояние не более 160 м, а диаметром 800 мм - на расстояние не более 250 м. Подача пены по трубам на расстояние менее 80 м не рекомендуется, так как наблюдается разрыв оплошности пенного потока.

Применение пеногенераторной перемычки ППП-8, на сетке которой пена образуется за счет общешахтной депрессии, возможно в горных выработках с площадью поперечного сечения до 9 м<sup>2</sup> и при скорости воздуха V<sub>в</sub> не менее 2,5 м/с. Дальность подачи пенного потока зависит от площади поперечного сечения выработки, скорости воздуха и определяется по табл.4.2.

Таблица 4.2

Площадь S, м <sup>2</sup>	Дальность подачи пены при скорости V <sub>в</sub> , м/с		
	2,5	3,0	4,0
5,4	80	100	120
6,2	100	120	160
7,3	140	150	200
8,1	160	180	230
9,0	180	200	250

Если в выработке скорость воздуха ниже 2,5 м/с, необходимо по схеме вентиляции шахты определить возможность её повышения путем проведения вентиляционных маневров.

При применении пеногенераторной перемычки ППП-8 или пеногенератора ПШ (ПГВ-3м, ПГУ-200) дальность подачи пены ограничена и составляет около 200 м. Поэтому после тушения и охлаждения части выработки рекомендуется прекратить подачу пены, произвести разведку, перенести перемычку и оборудование ближе к очагам горения и процесс тушения остальной части возобновить.

Во всех случаях тушения пожаров пеной в горизонтальных выработках следует ограничить зону горения со стороны исходящей струи водяной завесой.

#### 4.3. Тушение пожаров в наклонных и вертикальных выработках

Рекомендуется:

пена – высокократная и средней кратности;

пеногенераторная техника – ППП-8, ППУ «Буря», ПШ, ПЭК, ГИП-2м, ГИС-2000, пеносмеситель ПС-2;

пенообразователи – «Сампо», ПО-1, ПО-1Д, ПО-1А, ПО-3А, ПО-6К.

Тушение подземных пожаров в наклонных и вертикальных выработках необходимо производить только сверху вниз. При этом возможно как нисходящее, так и восходящее проветривание. При восходящем проветривании и скорости воздушного потока до 1,5 м/с можно применять пену высокой и средней кратности, а при скорости воздушного потока >2,5 м/с - пену средней кратности. Пеногенераторную технику можно устанавливать или в устье выработки, или на любом ближайшем к очагу пожара промежуточном горизонте (рис.22, 23),

В выработках с углом наклона до 18° тушение пожаров необходимо производить согласно 4.2.

Для заполнения выработки пеной необходимо ниже зоны горения, и на промежуточных горизонтах устанавливать ограничивающие пеноупорные перемычки, уплотненные с внутренней стороны брезентом или полиэтиленовой пленкой (в тупиковой выработке, проходимой сверху вниз, роль перемычки выполняет забой).

В зависимости от давления столба пены перемычка может быть дощатой или брусчатой, усиленной стойками и распорками.

Сила давления столба пены  $P_n$ , т, рассчитывается по формуле

$$P_n = \rho_n g L \sin \alpha S \cdot 10^{-4}$$

где  $L$  - длина выработки, м;

$\alpha$  - угол наклона выработки, град;

$S$  - площадь перемычки, м<sup>2</sup>;

$g$  - ускорение силы тяжести, м/с<sup>2</sup>.

Так, при заполнении выработки  $L = 200$  м с углом наклона  $\alpha = 30^\circ$  пеной кратностью 100 и площади перемычки  $S = 10$  м<sup>2</sup>

$$P_n = 1000/100 \cdot 10 \cdot 200 \cdot 0,5 \cdot 10^{-4} = 10 \text{ т}$$

При сооружении пеноупорных перемычек ниже зоны горения необходимо в них установить гидрозатвор (см. рис. 20) длина которого  $l$ , м рассчитывается по формуле

$$l = \frac{\rho_z}{\rho_{жс}} H + \left( 1 + \frac{\rho_z}{\rho_{жс}} \right) \frac{H}{K},$$

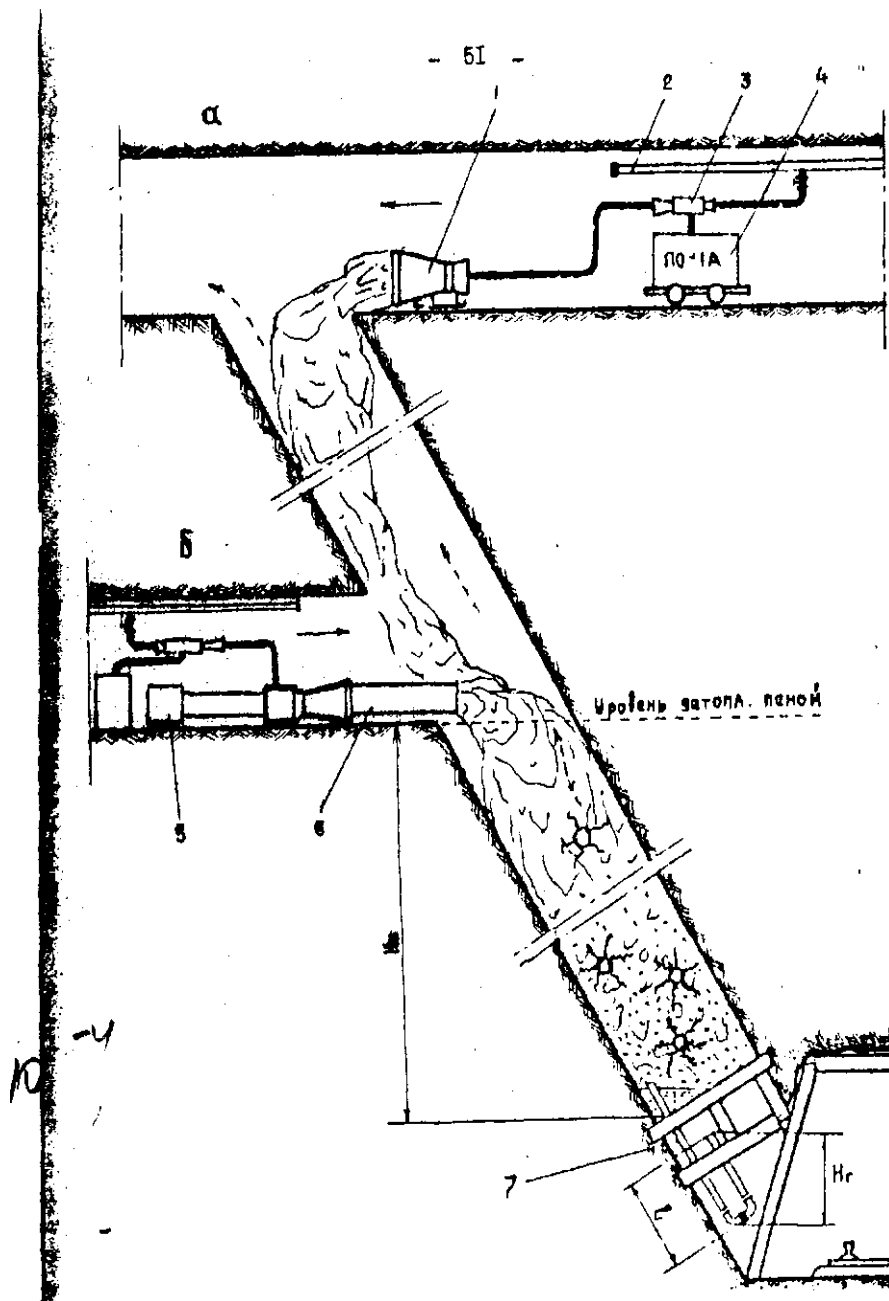


Рис.4.3 Дистанционное тушение пожара пеной в наклонной выработке:  
 а – с применением эжекционного пеногенератора;

б – с применением воздушно-пеногенератора ПШ на вышележащей смежной выработке;

1 – пеногенератор; 2 – шахтный водопровод; 3 – пеносмеситель; 4 – емкость с пенообразователем; 5 – вентилятор СВИ-6м или ВП-6м; 6 – вентиляционный рукав; 7 – гидрозатвор.

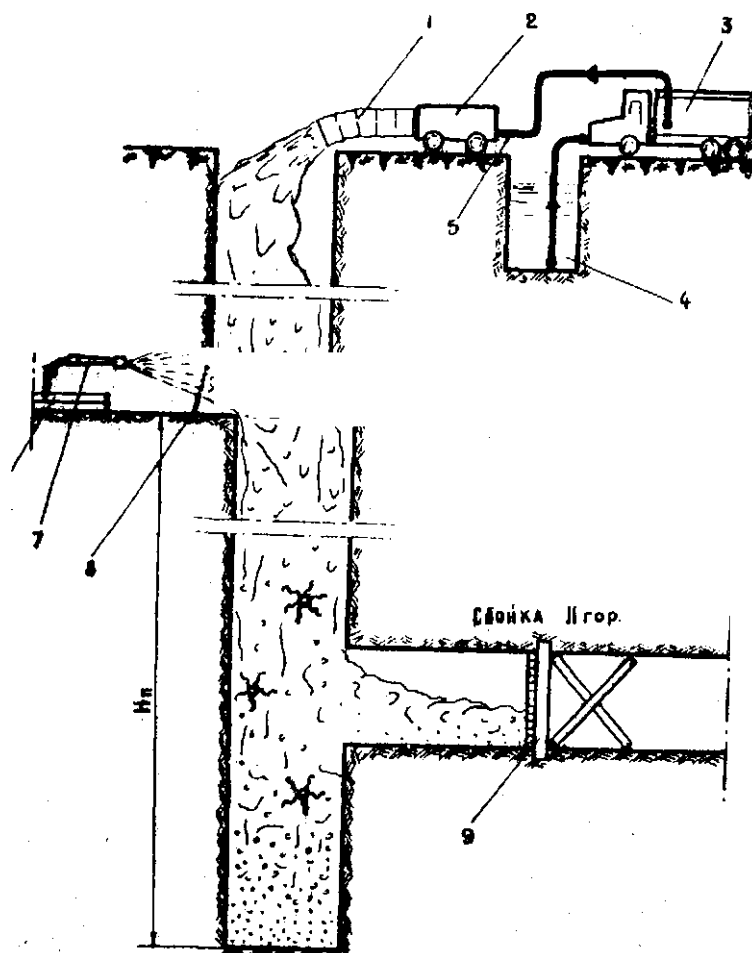


Рис. 4.4. Дистанционные способы тушения пожаров пеной в вертикальной выработке:

а – с применением ПУ «Вьюга»;

б – с применением ПГП-8;

1 – коленообразный рукав; 2 – пеногенераторная установка «Вьюга»;  
 3 – пожарная автоцистерна АЦ-40; 4 – водоем; 5 – пожарные рукава;  
 6 – шахтный водопровод; 7 – брандсбойт; 8 – пеногенераторная  
 перемычка ПГП-8; 9 – пеноупорная перемычка, уплотненная полиэтиленовой  
 пленкой

где  $H$  – высота столба пены, м;

Так, при  $H = 500$ ,  $K = 500$ ,  $\rho_p = 1,2 \text{ кг/м}^3$ ;  $\rho_{жс} = 1000 \text{ кг/м}^3$  и  $\alpha = 90^\circ$ .

$$l = \frac{1,2}{1000} \cdot 500 + \left( 1 + \frac{1,2}{1000} \right) \frac{500}{500} = 1,6 \text{ м}$$

Гидрозатвор должен быть выполнен из труб диаметром не менее 100 мм и проложен по почве выработки с таким расчетом, чтобы скопление воды над перемычкой было минимальным.

При подаче пены сверху вниз и восходящем проветривании необходимо установить пеногенератор так, чтобы в него не попадали продукты горения (рис.24), то есть пену подавать по вентиляционным трубам или вентилятор установить на свежей струе, а воздух доводить в пеногенератор по вентиляционным трубам, но на расстояние не более 100 м. Если производительность пеногенератора большая, а угол наклона выработки невелик, пена может создавать воздушную пробку между перемычкой и фронтом ее движения. В этом случае, необходимо уменьшить производительность пеногенератора, закрывая вход вентилятора или открывая в пеногенератора ПШ шибер, или применять пену средней кратности, получаемую эжекционными пеногенераторами ГПС-2000, ПЭК или ПШ.

Тушение пожаров в наклонных тупиковых выработках, проходимых сверху вниз, следует осуществлять пеной средней кратности с помощью одного или нескольких эжекционных пеногенераторов ГПС-600, ГПО-2000 или ПШ в зависимости от протяженности выработки.

При тушении пожаров в наклонных выработках с восходящим проветриванием пеной, подаваемой сверху вниз, может произойти опрокидывание вентиляционной струи, поэтому всех людей, находящихся в районе нижней пеноупорной перемычки, необходимо вывести на безопасное расстояние.

Тушение пожаров пеной в вертикальных и наклонных стволах, шурфах и сбоях с поверхности следует осуществлять установками «Вьюга» или «Буря». При этом максимальная глубина выработки, заполненной пеной, составляет 1000 м.

При тушении пожаров в околоствольных дворах или горных выработках с поверхности пена подается по стволам, шурфам или обойкам и ее очаж силы тяжести столба продвигается на значительные расстояния.

Технологические схемы тушения пожаров в сопряженных горных выработках представлены на рис.25.

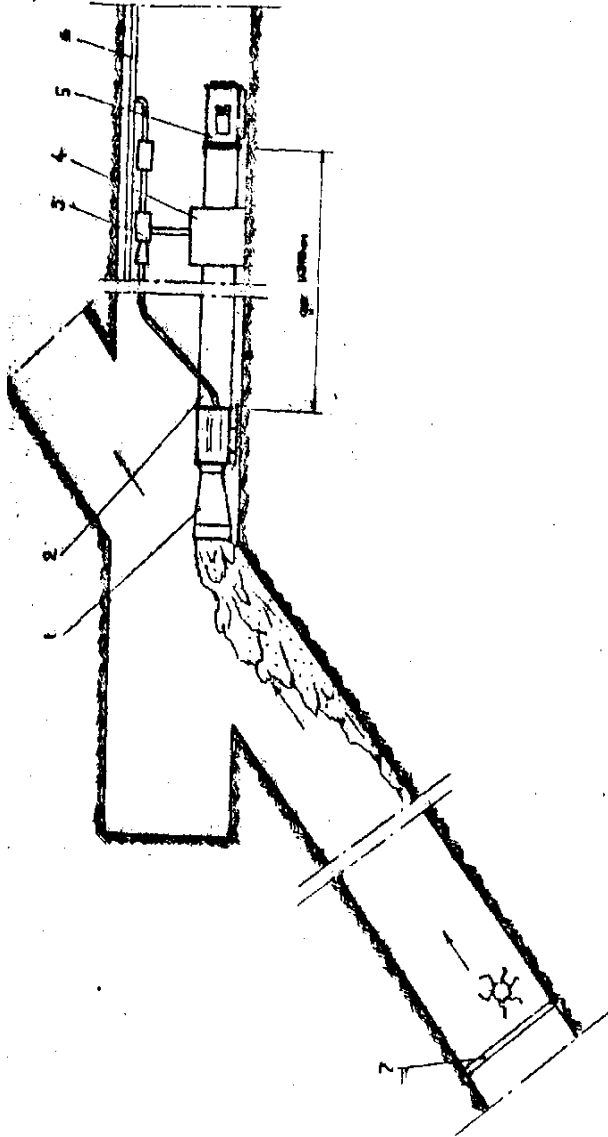


Рис.24. Схема установки пеногенератора при всасывании проветривании наклонной выработки:

1-пеногенератор; 2-соединительный воздухопровод; 3-пеносмеситель; 4-емкость с пенообразователем; 5-нагнетатель СМД-6м или Ш-6м; 6-щитная перегородка; 7-пеноструйная перегородка

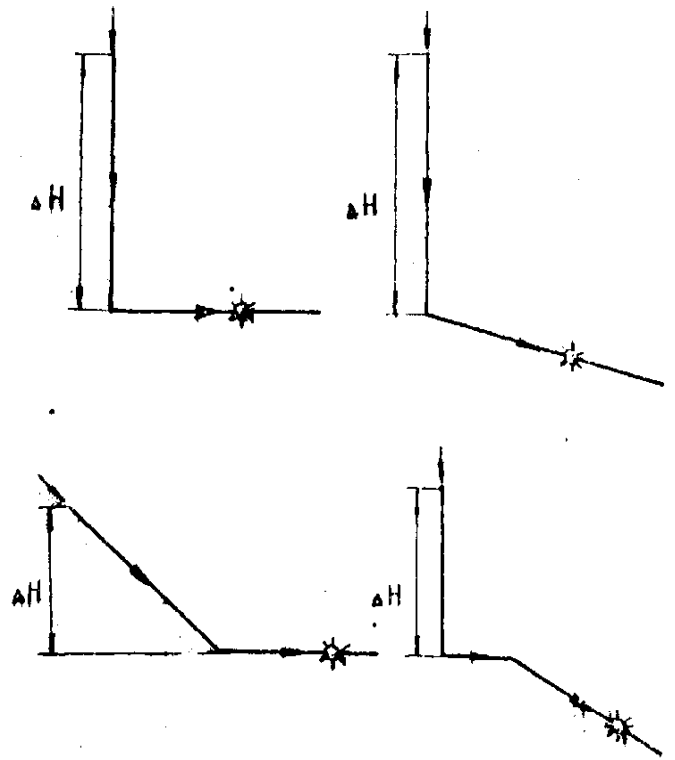


Рис.25. Схемы тушения пожаров в сопряженных выработках. Стрелками показано направление подачи пены и движения данного потока

В случае нисходящего проветривания в наклонных выработках ложно тушить пенным потоком. При этом ниже очага пожара необходимо установить водяную завесу, а в устье - дощатую перемычку, при применении ПШ - самонадувную. В этих условиях и при скорости воздушной струи более 2,5 м/с необходимо применять пеногенераторную перемычку ПГП-8.

Максимальная дальность подачи пены в наклонных выработках с углом наклона более 18° и различными площадями поперечного сечения определяется по табл.7.

Во всех случаях подачу пены необходимо осуществлять непрерывно до заполнения ею расчетного уровня, который следует поддерживать в течение времени, необходимого не только для исчезновения окиси углерода, но и для охлаждения нагретых боковых пород (в соответствии с расчетом). Расчетный уровень пены можно поддерживать за счет прерывистой ее подачи или применения эжекционных виарвторов меньшей производительности (ГПС-600, ГПС-2000).

Таблица 4.3

Максимальная дальность подачи пены по наклонным горным выработкам с углом наклона более 18° и различными площадями поперечного сечения с помощью ППУ «Буря» и ПШ

Площадь поперечного сечения выработки S, м <sup>2</sup>	Максимальная дальность подачи пены, м	
	ППУ «Буря»	ПШ (ПГВ-3м, ПГУ-200)
6,0	400	70
7,0	500	80
8,0	600	90
9,0	700	100
10,0	700	110
11,0	700	120
12,0	800	120

После прекращения подачи пены и ее полного разрушения необходимо обследовать пожарный участок и в случае обнаружения небольших очагов пожара принять меры по их тушению водой.

#### 4.4 Тушение пожаров в горизонтальных тупиковых выработках

Рекомендуются:

пена -высокократная;

пеногенераторная техника - ППУ «Буря», ПШ;

пенообразователи – «Сампо», ПО-1, ПО-1Д, ПО-1А, ПО-3А, ПО-6К.



Тушение пожаров в горизонтальных тупиковых выработках сопряжено, как правило, с отсутствием подхода к очагу пожара в связи с высокой температурой и задымленностью, а в газовых шахтах - с опасностью взрыва метановоздушной смеси при нарушении нормального режима проветривания. Поэтому, если пожар не потушен в начальной стадии, остается единственная возможность использовать вентиляционный трубопровод для дистанционной подачи в забой тупиковой выработки огнетушащих веществ. При этом вентиляционные трубы должны быть соединены заводскими хомутами, надежно подвешены и утечки воздуха не должны превышать 20 %.. В противном случае необходимо уплотнить трубопровод путем введения в него трубы из полиэтиленовой пленки.

С помощью пеногенераторной установки ПШ можно подавить пену по вентиляционному трубопроводу диаметром 600 и 800 мм на расстояние до 100 м, а с помощью ППУ «Буря» по вентиляционному трубопроводу диаметром 600 мм - на 160 м, а диаметром 800 мм - на 270 м.

Образовавшаяся пенная «пробка» длиной 160 м при взрыве метановоздушной смеси гасит пламенную фазу, охлаждает газы и снижает давление ударной волны примерно в семь раз, а также, смачивая угольную пыль, предотвращает ее участие во взрыве.

Работы по подготовке к запуску пены проводят при содержании метана на исходящей из тупиковой выработки вентиляционной струе или в забое тупиковой выработки до 2%. Общее время отсоединения вентиляционных труб от вентилятора местного проветривания (после его отключения) и подсоединения их к пеногенераторной установке, а также начало запуска пены не должно превышать расчетное время накопления метана до взрывоопасной концентрации (4-5%). Установку необходимо включать толчками, постепенно пополняя воздухом трубы, чтобы исключить разъединение или порыв трубопровода.

Во всех случаях запуск пены должен осуществляться непрерывно, так как перерывы в работе установки нарушают целостность пенной пробки и локализация взрыва будет неэффективной.

#### *4.5. Тушение пожара в выработанных пространствах, куполах и пустотах за крепью*

Рекомендуются:

пена - низкократная и средней кратности;

пеногенераторная техника - УИП, ПНК; УЛЭП; "Экран", пожарная пика;

пенообразователи - "Семпо", ПО-1, ПО-1А, ПО-6К и другие со стабилизирующими добавками.

Для тушения пожаров в выработанном пространства, куполах и пустотах за крепью в зависимости от газовой обстановки могут применяться инертная, воздушно-механическая и твердеющая пены.

При применении УИП для получения инертной или воздушно-механической пены в качестве газообразной фазы используется азот (жидкий или газообразный) или сжатый воздух (рис.26).

Подача газообразного азота к ПНК и устройству УИП может осуществляться как с поверхности шахт установками АГУ-2м по существующим нам специально проложенным трубопроводам, так и на горных выработок шахт газификатором ГШ-1Э по пожарным рукавам.

Доставка жидкого азота на аварийный участок производится в специальных емкостях типа ЦТК, установленных на платформе шахтной вагонетки.

Запуск пены можно осуществлять с поверхности шахты, а также из горных выработок (рис.4.7, 4.8).

Перед началом работ по тушение пожара в выработанном пространстве определяют место очага горения по температуре и анализу пожарных газов.

После определения зоны активного горения бурятся и обсаживаются скважины в верхнюю часть обрушенного пространства для того, чтобы подаваемая пена смогла локализовать и охладить наибольшую зону. Если зона горения по простиранию более 15 м, то в этом случае бурят несколько скважин, так как через одну скважину можно обработать зону диаметром до 15 м.

В тех случаях, когда по обрушенным породам пробурить скважины в зону горения невозможно, целесообразно использовать трубопрокладчик ТГ.

При тушении пожаров в куполах и пустотах за крепью по выделению продуктов горения, прогреву бетонной крепи или железобетонных затяжек определяют место и зону распространения очага пожара. Затем бурят скважины или забивают пики в верхнюю часть купола обрушения и с помощью УИП или ППК непрерывно подают воздушно-механическую или инертную пену в зону горения до исчезновения признаков горения.

Признаком эффективного тушения пожара является бурное парообразование, капез жидкости с высокой температурой из значительной площади выработки.

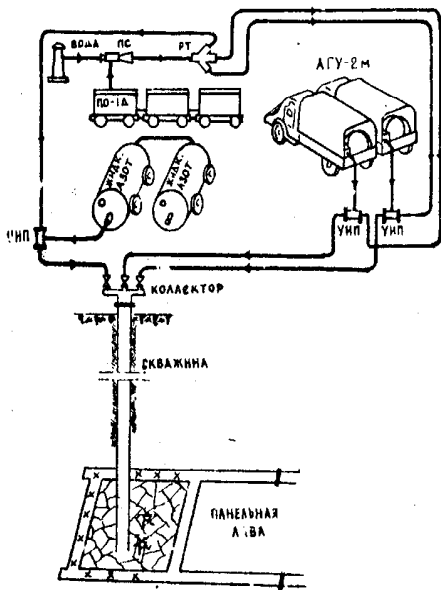


Рис. 27. Запуск энергетической пены в выработанное пространство с поверхности

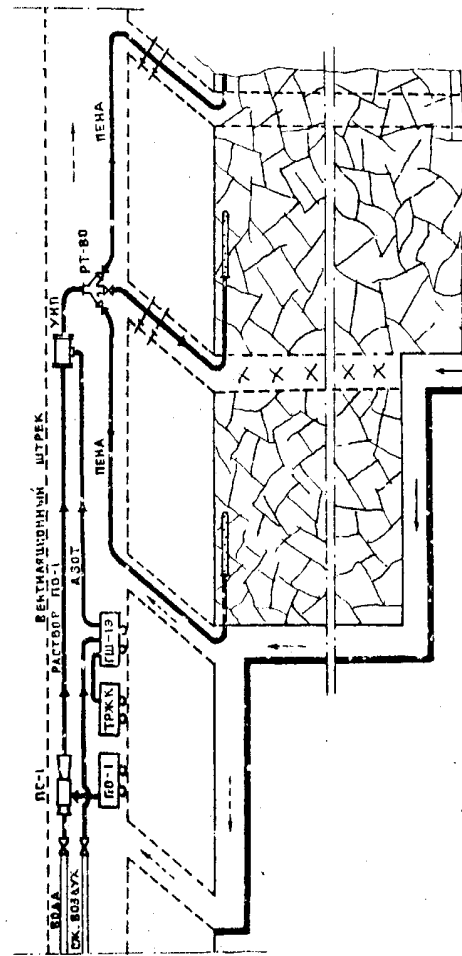


Рис. 28. Запуск внешней пены в выработанное пространство из горных выработок

#### 4.6. Изоляция горных выработок и выработанных пространств с помощью твердеющих пен

Рекомендуются:

Установки - ТП к ПНК.

Компоненты - карбамидоформальдегидная смола КФ-Б или КФ-МТ;  
сульфонол НП-3; ортофосфорная кислота.

Перед началом изоляционных работ необходимо определить ориентировочный объем твердеющей пены, порядок обеспечения исходным сырьем, водой и сжатым воздухом, места расположения емкостей с сырьем и

установок ТП или ПНК, объем подготовительных работ в выработках, подлежащих изоляции.

Подготовительные работы, выполняемые перед началом изоляционных работ, включают:

возведение опалубки на всю высоту выработки, устранение по контуру выработки неплотностей и щелей для предотвращения вытеснения твердеющей пены в начальный период;

монтаж установки и подключение ее к пожарно-оросительному трубопроводу и трубопроводу сжатого воздуха;

приготовление раствора кислоты, а также раствора карбамидо-формальдегидной смолы с пенообразователем, который получают путем смешивания смолы с оульфонолом в соотношении 20:1 по объему.

Возведение изолирующих перемычек целесообразно производить из твердеющей пены кратностью 8-15.

Рекомендуемая толщина перемычки из твердеющей пены приведена ниже

Площадь поперечного сечения выработки в свету, м <sup>2</sup>	Толщине перемычки, м
4,5 - 6,0	1,0 - 1,5
6,0 - 8,0	1,5 - 2,0
8,0 - 12,0	2,0 - 2,5

Установку следует располагать на расстоянии не более 50 м от места возведения перемычки.

Работы по возведению изолирующих перемычек необходимо производить в следующем порядке:

смонтировать установку;

подключить ее к пожарно-оросительному трубопроводу и трубопроводу сжатого воздуха;

подать сжатый воздух и воду в установку, опустить всасывающие рукава в смолу и кислоту, установить необходимой режим работы установки;

вставить в окно верхней части опалубки выходной рукав установки и заполнить межопалубочное пространство твердеющей пеной, управляя выходным рукавом и контролируя качество твердеющей пены и заполнения межопалубочного пространства.

После заполнения перемычки вытащить всасывающие рукава из емкостей со смолой и кислотой и опустить их в емкость с водой, вытащить из окна опалубки выходной рукав и промыть установку в течение 5 мин.

В связи с возможной усадкой твердеющей пены через 1-2 ч проверить качество заполнения перемычки и в случае необходимости произвести дополнительную заливку образовавшаяся пустоты твердеющей пеной.

В связи с выделением формальдегида из твердеющей пены необходимо уделять особое внимание проветриванию участка (выработки), на котором возводятся изолирующие сооружения из твердеющей пены, с целью доведения концентрации формальдегида до предельно допустимой нормы.

Заполнение куполов и пустот за крепью горных выработок рекомендуется производить твердеющей пеной кратности 15-30. Перед заполнением куполов и пустот за крепью твердеющей пеной необходимо восстановить разрушенные затяжки и устранить неплотности между ними для предотвращения вытекания пеномассы или возвести опалубку. В отверстие опалубки вставить на высоту заполнения купола и закрепить к раме крепи отрезок трубы диаметром не менее 70 мм, верхний конец которой изогнут на 90°, нижний соединен с выходным рукавом установки. При большой высоте купола на расстоянии 1-2 м вставляется контрольная труба для выхода воздуха и определения заполнения купола. Порядок работы на установке такой же, как при возведении изолирующих перемычек.

Для обеспечения качественного заполнения купола и боковых полостей трубу, через которую производится нагнетание пеномассы, необходимо в процессе работы периодически поворачивать на 180° в обе стороны.

Для сооружения изоляционных "рубашек" рекомендуется применять твердеющую пену кратностью 8-10.

Изоляционную "рубашку" сооружают в такой последовательности:  
возводят опалубку на расстоянии  $0,15+0,25$  и от крепи;  
перемещаясь вдоль опалубки, нагнетают через отверстия твердеющую пену в пространство между крепью и опалубкой, визуально контролируя качество заполнения пространства.

#### *4.7. Выбор пеногенераторной техники для тушения подземных пожаров*

Выбор пеногенераторной техники для тушения подземных пожаров необходимо производить исходя из следующих данных:

угла наклона и площади поперечного сечения горной выработки, в которой произошел пожар;

степени развития подземного пожара и объеме выработки (выработанного пространства), которую необходимо заполнять пеной;

предполагаемого места установки пеногенераторной техники;

скорости воздуха в выработке и направления струи.

В соответствии с исходными данными пеногенераторных установок (дальность подачи пены, максимальный объем заполняемой пеной выработки и др.) по табл. 8 выбирают те из них, которые обеспечивают тушение пожара.

#### *4.8. Расчет параметров тушения и локализации подземных пожаров пеной*

В отличие от воды, имеющей ограниченный радиус действия, пене является дистанционным средством тушения. Обладая хорошей смачивающей способностью, она под действием силы тяжести или под напором вентиляционной струи может продвигаться по горным выработкам и трубопроводам, сохраняя при этом свои огнетушащие и охлаждающие свойства.

Ввиду того, что пенный поток является двухфазным газожидкостным потоком переменной массы, продвижение которого по выработке

сопровождается стеканием жидкости, эффективное тушение и охлаждение им будет лишь на определенном расстоянии, зависящем от количества жидкости в объеме пены.

Тушение подземных пожаров осуществляется:

в горизонтальных и наклонных выработках – пенным потоком;

в наклонных и вертикальных выработках – заполнением пеной сверху вниз.

Основными параметрами, характеризующими эффективность дистанционного тушения подземных пожаров пеной, являются:

дальность эффективного действия пены  $l_T$ ;

продолжительность подачи пены в зону горения (продолжительность тушения)  $\tau_T$ ;

количество пенообразователя, необходимое для полной ликвидации пожара  $V_{no}$ .



## *Список рекомендованой літератури*

### **Основна література**

1. Скочинский А.А., Огневский В.М. Рудничные пожары. - Углетехиздат, 1954г.
2. Соболев Г.Г., Чарков В.П. и др. Тушение подземных пожаров на угольных шахтах, - М., „Недра“, 1977г., - 248 стр.
3. Булгаков Ю.Ф. Тушение пожаров в угольных шахтах. - Донецк: НИИГД, 2001г., - 280 стр.
4. Балтайтис В.Я. Тушение пожаров в угольных шахтах. М., Госгортехиздат, 1964г., - 211 стр.
5. Козлюк А.И., Хорольский В.Т., Кушнарєв А.М. Основы противопожарной защиты угольных шахт. М., «Недра», 1971г. - 104 стр.
6. Булгаков Ю.Ф. Автоматические порошковые системы пожаротушения. - Донецк: НИИГД, 1999г.

### **Додаткова література**

1. Козлюк А.И., Чарков В.П. и др. Руководство по локализации и тушению подземных пожаров пенами. - Донецк, ВНИИГД, 1967г.
2. Зрелнй Н.Д., Чарков В.П., Юрьев А.П. и др. Руководство по определению параметров подземных пожаров и выбор средств тушения. - Донецк, ВНИИГД, 1985г.
3. Правила техники безопасности на угольных шахтах, - Киев «Основа», 1996г.
4. Булгаков Ю.Ф. Классификация, комплексная оценка и пути повышения эффективности шахтных огнетушителей: сб: науч. тр. НИИГД, 1998г.
5. Устав ГВГСС по организации и ведению горноспасательных работ, - Киев, 1993г.
6. Руководство по применению инертных газов при ликвидации пожаров в шахтах. - Донецк, ВНИИГД, 1989г.
7. Применение инертных газов при ликвидации подземных пожаров. Осипов С.Н. «Техніка», 1973г., 172 стр.
8. Козлюк А.И. Противопожарная защита угольных шахт. - К.: «Техніка», 1980г., 156 стр.
9. Профилактика пожаров и взрывов в угольных шахтах. Коваленко М.И., Зрелнй, Хорольский В.Т. и др. М. «Недра», 1983г. 172 стр.
10. Локализация и тушение подземных пожаров. Сборник статей. Выпуск 10. Кемеровское книжное изд-во. 1983г. 104 стр.
11. Руководство по применению инертных газов при ликвидации пожаров в шахтах, опасных по газу и пыли. Всесоюзный научно-исследовательский институт горноспасательного дела. Донецк. 1986 г. – 93 с.
12. Пожарная безопасность. Нормативные акты и другие документы. – 1, 2, 3. – Киев, 1997.
13. Прогноз и профилактика эндогенных пожаров. Изд-во «Наука» 1975–160 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ КУРСА	4
ПОЖАРНАЯ ОПАСНОСТЬ ШАХТ	5
<b>1. РУДНИЧНЫЕ ПОЖАРЫ И ИХ РАССЛЕДОВАНИЕ.....</b>	<b>9</b>
1.1. Понятие и природа рудничного пожара.....	9
1.2. Примеры рудничных пожаров.....	10
1.3. Опасность рудничных пожаров.....	13
1.4. Классификация рудничных пожаров.....	15
1.5. Причины рудничных пожаров.....	19
1.6. Горение в рудничных условиях.....	24
1.7. Виды горения и условия воспламенения.....	28
1.8. Эндогенные пожары и их особенности.....	36
1.9. Пожарные газы в различных фазах рудничного пожара и взрывы пожарных газов.....	45
<b>2. ОГНЕГАСИТЕЛЬНЫЕ ВЕЩЕСТВА</b>	<b>54</b>
2.1. Распыленная вода, как огнегасительное вещество.....	54
2.1.1. <i>ЛОКАЛИЗАЦИЯ ПОДЗЕМНОГО ПОЖАРА СТАЦИОНАРНЫМИ АВТОМАТИЧЕСКИМИ УСТАНОВКАМИ ВОДНОГО ПОЖАРОТУШЕНИЯ</i> .....	54
2.2.2 <i>АВТОМАТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ ЛОКАЛИЗАЦИИ ПОДЗЕМНЫХ ПОЖАРОВ</i> .....	62
2.2.3 <i>УСТАНОВКА ВОДЯНОГО ПОЖАРОТУШЕНИЯ УВПК-Б</i> ....	66
2.2.4 <i>АВТОМАТИЧЕСКАЯ ПОЖАРОТУШАЮЩАЯ УСТАНОВКА С АВТОНОМНЫМ ИСТОЧНИКОМ ВОДЫ АЛУ-600</i> .....	67
<b>3. ЛИКВИДАЦИЯ ПОЖАРОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ АЗОТА</b>	<b>81</b>
3.1. Способы подачи.....	81
3.2. Средства подачи.....	81
3.3. Порядок работы.....	82
3.4. Применение азота с другими средствами пожаротушения.....	90
3.5. Методика расчета параметров выпуска газообразного азота в аварийный участок и тупиковую выработку.....	95
3.5.1 <i>ВЫПУСК АЗОТА В УЧАСТКИ, ПРОВЕТРИВАЕМЫЕ ЗА СЧЕТ ОБЩЕШАХТНОЙ</i> .....	95
3.6. Применение газоразделительных мембранных модулей для создания инертной среды в пожарных участках.....	97
3.6.1. <i>ВЫПУСК АЗОТА В ТУПИКОВЫЕ ВЫРАБОТКИ</i> .....	106
3.7. Меры безопасности.....	114
<b>4. ТЕХНОЛОГИЯ ТУШЕНИЯ И ЛОКАЛИЗАЦИИ ПОДЗЕМНЫХ ПОЖАРОВ ПЕНОЙ</b>	<b>117</b>
4.1. Общие рекомендации.....	117
4.2. Тушение пожаров в горизонтальных выработках, проветриваемых за счет общешахтной депрессии.....	119
4.3. Тушение пожаров в наклонных и вертикальных выработках.....	122

4.4 Тушение пожаров в горизонтальных тупиковых выработках.....	128
4.5. Тушение пожара в выработанных пространствах, куполах и пустотах за крепью.....	130
4.6. Изоляция горных выработок и выработанных пространств с помощью твердеющих пен.....	132
4.7. Выбор пеногенераторной техники для тушения подземных пожаров.....	135
4.8. Расчет параметров тушения и локализации подземных пожаров пеной.....	135
<b>СПИСОК РЕКОМЕНДОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ</b>	<b>137</b>
<b>СОДЕРЖАНИЕ</b>	<b>138</b>