

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящая книга является первым изданием учебного пособия „Аварийно-спасательные работы в шахтах“ для студентов специальности - „Разработка месторождений полезных ископаемых“, специализации - „Охрана труда в горном производстве“, который написан в соответствии с программой дисциплины, разработанной кафедрой аэрологии и охраны труда Государственного высшего учебного заведения „Национальный горный университет“. Учебным планом подготовки специалистов предусмотрено изучение дисциплин, формирующих знания и умения горных инженеров по всему комплексу вопросов связанных с правовым и техническим обеспечением горноспасательного дела и аварийно-спасательных работ, их управлением и организацией, обеспечением противоаварийной устойчивости горных предприятий, управлением вентиляцией в аварийных условиях и др. В соответствии с этим в учебный план подготовки специалистов включены такие дисциплины как „Основы горноспасательного дела“, „Пожарная безопасность“, „Аварийно-спасательные работы“. Выделение этих дисциплин в самостоятельные курсы обусловлено как значительным объемом информации, знаний и умений которые должны усвоить и приобрести студенты в процессе изучения выше указанных дисциплин, так и универсальным характером этой информации, возможностью ее применения при ведении аварийно-спасательных работ в иных отраслях промышленности.

В ранее изданном учебном пособии „Основы горноспасательного дела“ рассмотрены вопросы правового регулирования горноспасательного дела, организации и управления аварийно-спасательными службами, обеспечения противоаварийной устойчивости горных предприятий, описано техническое оснащение для ведения аварийно-спасательных работ. Настоящее пособие включает вопросы правового регулирования, организации и управления аварийно-спасательных работ в шахтах. Большое внимание уделено описанию причин, особенностей возникновения и протекания различных видов аварий, тактики и технологии ведения аварийно-спасательных работ, спасению людей при авариях в горных выработках и медицинского обеспечения аварийно-спасательных работ.

При подготовке пособия максимально учтены требования НПАОП 10.0-1.01-10 „Правила безопасности в угольных шахтах“ (да-

лее Правила безопасности). Для более глубокого изучения рассматриваемых вопросов и возможности применения приобретенных знаний в дипломном проектировании и при производственной деятельности в пособии приведен перечень практически всех нормативно-правовых актов и другой документации, применение которой регламентировано Правилами безопасности.

Пособие подготовлено преподавателями кафедры аэрологии и охраны труда Национального горного университета совместно со специалистами Государственной военизированной горноспасательной службы Министерства энергетики и угольной промышленности Украины (ГВГСС).

Авторы выражают признательность ведущим ученым и специалистам В.И. Бондаренко, Ю.Ф. Булгакову, Б.А. Грядущему, Э.Г. Ильинскому, В.К. Костенко, Е.И. Конопелько, П.С. Пашковскому, С.Н. Смоленову и др. за предоставленную возможность использования результатов их научных исследований при подготовке пособия.

Авторы будут благодарны за предложения, направленные на улучшение пособия.

Пособие может использоваться при самостоятельной проработке лекционного курса, подготовке к проведению практических работ студентами высших учебных заведений, а также командным составом и специалистами горноспасательных служб при повышении их квалификации. Он может быть полезным рядовому и командному составу горноспасательных служб, инженерно-техническим работникам горных предприятий, членам ВГК и др.

## ВВЕДЕНИЕ

Среди учебных дисциплин, изучение которых позволяет получить студенту объем знаний и умений, необходимый для последующей профессиональной деятельности, особое место занимает блок дисциплин призванных сформировать у будущего специалиста знания, умения и навыки необходимые для сохранения здоровья и обеспечения безопасности человека в среде обитания, как в повседневных условиях труда и быта, так и в условиях чрезвычайных ситуаций. Изучение дисциплины „Аварийно-спасательные работы“ позволяет получить будущему горному инженеру знания и умения необходимые для обеспечения личной безопасности и безопасности подчиненных при возникновении аварийных ситуаций, вооружает его знаниями относительно физики и механизма возникновения и развития аварий и аварийных ситуаций, знаниями и умениями в вопросах ликвидации аварий и их последствий, оказания помощи пострадавшим.

Учитывая весьма большой объем информации, специфику знаний и умений которые необходимы инженерно-техническим работникам горных предприятий, специализирующимся в области охраны труда, рядовому и командному составу военизированных горноспасательных частей и членам вспомогательных горноспасательных команд Национальным горным университетом совместно со специалистами ГВГСС осуществляется углубленная подготовка будущих специалистов в области горноспасательного дела.

*Горноспасательное дело* - это система правовых, организационно-технических, медико-профилактических мероприятий и средств, направленных на спасение людей в чрезвычайных ситуациях, возникающих на горных предприятиях, предупреждение и ликвидацию аварий и отдельных их последствий на этих предприятиях, устранение которых связано с применением специальных средств защиты и оборудования.

*Чрезвычайная ситуация* - это нарушения нормальных условий жизни и деятельности людей на объекте или территории, вызванное аварией, катастрофой, стихийным бедствием или другим опасным событием, которая привела (может привести) к гибели людей или значительным материальным потерям.

*Авария* - опасное событие техногенного характера, которое привело к гибели людей или создает на объекте (территории) угрозу для

жизни и здоровья людей, приводит к разрушению зданий, сооружений, оборудования и транспортных средств, нарушению производственного процесса, наносит ущерб окружающей среде.

*Катастрофа* - крупномасштабная авария или иное событие, которое приводит к тяжелым, трагическим последствиям.

*Горноспасательная служба* - совокупность организационно объединенных органов управления, сил и средств, предназначенных для предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций техногенного и природного характера и отдельных их последствий, выполнения поисковых, аварийно-спасательных работ и иных неотложных работ на предприятиях горной промышленности.

*Профессиональная горноспасательная служба* - горноспасательная служба созданная на штатной основе, в которой вводится специальная физическая и психологическая подготовка личного состава.

*Военизированная горноспасательная служба* - это профессиональная аварийно-спасательная служба, основанная на принципах единоначалия, подчиненности и централизации управления, уставной дисциплины, особой ответственности.

*Горноспасательное формирование* - это структурный подраздел горноспасательной службы, предназначенный для выполнения аварийно-спасательных работ.

*Горноспасатель* - лицо, которое имеет соответствующую специальную подготовку, аттестованное на способность к проведению аварийно-спасательных работ и непосредственно принимает в них участие, имеет специальную физическую и психологическую подготовку и отвечает за ее поддержание.

*Аварийно-спасательные работы* - работы направленные на поиск, спасение и защиту людей, а также материальных ценностей и защиту окружающей среды при возникновении чрезвычайных ситуаций, которые требуют привлечения специально подготовленных работников, применения специальных средств защиты и оборудования

*Аварийно-спасательные средства* - технические средства специального назначения, научно-техническая и интеллектуальная продукция (средства связи, техника, оборудование, снаряжение, материалы, видео-, кино-, фотоматериалы по технологии проведения аварийно-спасательных работ, программные продукты и базы данных и иные средства), которые используются во время проведения аварийно-спасательных работ.

Дисциплина „Аварийно-спасательные работы“ - является выборочной дисциплиной, которая изучается с целью формирования у будущих специалистов с высшим образованием необходимого в их дальнейшей профессиональной деятельности уровня знаний и умений по технологии ведения аварийно-спасательных работ.

Дисциплина „Аварийно-спасательные работы“ базируется как на общеобразовательных (физика, химия, математика), так и на общетехнических и специальных дисциплинах (сопротивление материалов, электротехника, разрушение горных пород, технология разработки месторождений полезных ископаемых, горные машины, транспортные системы горных предприятий и др.). В особенности тесно дисциплина „Аварийно-спасательные работы“ связана с основами горноспасательного дела, пожарной безопасностью, безопасностью жизнедеятельности, основами охраны труда, охраной труда в отрасли и аэрологией горных предприятий.

Методологической основой курса „Аварийно-спасательные работы“ является научный анализ физики и механизма возникновения и развития аварий и аварийных процессов, а также возможности активного воздействия на эти процессы.

Курс „Аварийно-спасательные работы“ состоит из четырех разделов:

- управление и организация аварийно-спасательными работами;
- возникновение и развитие аварий и аварийных ситуаций на горных предприятиях;
- тактика и технология аварийно-спасательных работ;
- медицинское обеспечение аварийно-спасательных работ.

Главная цель курса - предоставить будущим специалистам знания в специфической области горноспасательного дела, реализация которых на практике будет способствовать предотвращению аварий и повышению эффективности борьбы с ними, повышению готовности специалистов к ликвидации аварий и оказанию помощи работникам застигнутым аварией.

# **1. ОРГАНИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНЫМИ РАБОТАМИ**

Профессиональные умения специалиста квалификации горный инженер относительно использования знаний по вопросам организации и управления аварийно-спасательными работами.

Горный инженер, который проходит целевую подготовку в области аварийно-спасательного дела, должен уметь:

- оценивать обстановку, которая сложилась вследствие чрезвычайной ситуации, зоны поражения объекта или территории и определять основные направления действий, связанных с ликвидацией чрезвычайной ситуации;

- создавать необходимые условия для поддержания трудоспособности личного состава;

- осуществлять сосредоточение в зоне чрезвычайной ситуации необходимых сил, средств, резервов и своевременное введение их в действие по назначению;

- осуществлять непосредственное руководство аварийно-спасательными работами;

- координировать действия аварийно-спасательных формирований связанных с ликвидацией чрезвычайной ситуации чрезвычайной ситуации;

- организовывать поиск и спасение людей на пораженных объектах и территориях;

- организовывать проведение работ по ликвидации аварии и ее последствий.

## **1.1. Управление аварийно-спасательными работами**

### **1.1.1. Общие основы деятельности аварийно-спасательных служб при ликвидации аварий**

Управление аварийно-спасательными работами - это комплекс действий по руководству всеми видами работ в период спасения людей, ликвидации аварии, и её последствий.

Аварийно-спасательные службы во время ликвидации аварии должны обеспечить:

- оперативное определение обстановки, которая сложилась вследствие аварии, зоны поражения объекта или территории и основных направлений действий, связанных с ликвидацией аварии;

- применение срочных мер по поиску и спасению людей на пораженных объектах и территориях и оказание неотложной медицинской и другой помощи пострадавшим;

- идентификацию опасных факторов и соблюдение личным составом требований правил безопасности во время проведения аварийно-спасательных работ;

- создание необходимых условий для поддержания трудоспособности личного состава;

- сосредоточение в зоне чрезвычайной ситуации необходимых сил, средств, резервов и своевременное введение их в действие по назначению;

- оперативное устранение осложнений, которые возникают во время ликвидации аварии;

- координацию действий всех аварийно-спасательных формирований связанных с ликвидацией аварии.

Во время ликвидации аварий ведется оперативно-техническая документация и складывается отчет о работе аварийно-спасательной службы, связанной с ликвидацией чрезвычайной ситуации, которая является составной частью материалов расследования аварии. Виды и образцы оперативно-технической и отчетной документации устанавливаются центральными органами исполнительной власти.

Затраты на проведение отдельных аварийно-спасательных работ, понесенные государственными и коммунальными аварийно-спасательными службами во время ликвидации аварии, подлежат обязательному возмещению (полностью или частично) соответствующими предприятиями, учреждениями и организациями. Аварийно-спасательным службам общественных организаций возмещаются непосредственные затраты, связанные с ликвидацией чрезвычайной ситуации (стоимость топлива, износа оборудования и т.п.).

Возмещение причиненной предприятиям, учреждениям и организациям, которые находятся в зоне чрезвычайной ситуации, вреда в случае привлечения к выполнению работ по ликвидации чрезвычайных ситуаций их транспортных средств, оснащения, другого имущества осуществляется соответственно Гражданскому кодексу Украины. Материальный ущерб, связанный с повреждением необходимыми

функциональными действиями во время ликвидации аварии имущества, которое находится на объектах и территориях, где непосредственно проводятся аварийно-спасательные работы, аварийно-спасательная служба соответствующим юридическим и физическим лицам не возмещает.

Основными задачами управления аварийно-спасательными работами являются:

- руководство всеми видами работ на поверхности и в горных выработках, в том числе непосредственно на месте ликвидации аварий и их последствий;
- обеспечение выполнения в установленные сроки заданий, предусмотренных планом ликвидации аварии и оперативными планами;
- обеспечение устойчивой двусторонней связи между руководителями и исполнителями аварийно-спасательных работ;
- привлечение групп специалистов ГВГСС и других организаций для разработки оперативной документации и рекомендаций по наиболее эффективным и безопасным способам ликвидации аварии;
- анализ результатов ведения горноспасательных работ, разработка и своевременная корректировка действий исполнителей;
- технологические расчеты с использованием вычислительной техники, разработка мероприятий оперативных планов ликвидации аварии;
- ведение оперативного журнала, суточных графиков очередности работ и другой документации, предусмотренной Уставом, нормативными актами ГВГСС и отрасли.

### **1.1.2. Порядок привлечения аварийно-спасательных служб к ликвидации аварий**

Привлечение аварийно-спасательных служб к ликвидации аварий ситуаций осуществляется:

- в соответствии с планами ликвидации аварий на объектах и территориях, которые ними обслуживаются;
- в соответствии с планами взаимодействия в случае возникновения чрезвычайной ситуации на других объектах и территориях;
- по решению органов, которые осуществляют управление деятельностью аварийно-спасательных служб, на основании обращений Совета министров Автономной Республики Крым, местных государ-

ственных администраций, органов местного самоуправления, предприятий, учреждений и организаций, на территориях и объектах которых произошла чрезвычайная ситуация.

Привлечение аварийно-спасательных служб к ликвидации чрезвычайных ситуаций за пределами территории Украины осуществляется по решению Кабинета Министров Украины на основании международных договоров Украины.

Порядок привлечения горноспасательных подразделений к ликвидации аварий регламентируется Уставом ГВГСС по организации и ведению горноспасательных работ.

Получив первое сообщение об аварии, горный диспетчер обеспечивает немедленный вызов подразделения ГВГСС согласно плану ликвидации аварий. Действия диспетчера по выяснению аварийной обстановки не должны задерживать вызов ГВГСС.

При получении сообщения о возникшей аварии на обслуживаемой взводом шахте дежурный у телефона включает сигнал „Тревога“ и заполняет установленной формы путевку на выезд подразделения на ликвидацию аварии. В путевке указываются: наименование и принадлежность шахты или другого аварийного объекта, вид аварии, точное время вызова, должность и фамилия вызвавшего взвод и принявшего вызов.

Дежурный командир взвода и личный состав отделений немедленно выезжают на аварийный объект. Автомобиль отделения должен иметь все необходимое оснащение, предусмотренное табелем для соответствующего вида аварии. Выезжающее отделение должно иметь путевку на выезд и план ликвидации аварии шахты (объекта). Количество выезжающих по сигналу „Тревога“ горноспасательных отделений, а также виды и количество специальных технических средств, в соответствии с утвержденной диспозицией выездов горноспасательного отряда определяются его командиром в зависимости от вида аварии. Одновременно по установленному командиром отряда порядку информация об аварии передается в оперативную диспетчерскую Центрального штаба ГВГСС.

Если произошедшая авария могла вызвать различного рода поражения горнорабочих, то вместе с первыми отделениями, имеющими каждый в своем составе медицинского работника, выезжают и следуют в горные выработки врачи реанимационно-противошоковой группы (РПГ).

С момента поступления вызова на выезд для проведения аварийно-спасательных работ во всех отрядах, подразделения которых выехали на аварийный объект, вводится режим чрезвычайной ситуации. Лица оперативного состава, свободные от несения службы, после получения информации об аварии обязаны прибыть в подразделение для несения службы по специальному графику. При ликвидации сложных аварий ввод особого режима труда и отдыха оперативного военизированного состава, сосредоточение сил и технических средств осуществляет Центральный штаб ГВГСС.

Прибыв на аварийный объект, командный состав горноспасательных подразделений направляется на командный пункт (КП) за получением задания, а личный состав готовится к спуску в шахту с оснащением, соответствующим виду аварии. Полученное задание доводится до командиров отделений, которые направляются в шахту на выполнение задания.

Личный состав подразделения, прибывший на шахту, по распоряжению командира начинает подготовку к спуску в шахту. Бойцы надевают респираторы и производят их боевую проверку. В соответствии с характером аварии они берут необходимое снаряжение и выстраиваются у машин по отделениям. Подготовка к спуску в шахту занимает 1-2 мин. При таких авариях, как пожары, взрывы, внезапные выбросы и затопления, бойцы отделения берут в шахту газоанализаторы, аппараты связи, вспомогательные респираторы, изолирующие самоспасатели, носилки, одеяла и средства оказания первой помощи пострадавшим. После завершения подготовки командиры отделений направляются на командный пункт для получения заданий. Руководитель горноспасательных работ дает задания каждому командиру отделения и указывает, какое дополнительное снаряжение следует взять с собой бойцам отделений.

После этого руководитель аварийно-спасательных работ подает команду о следовании к стволу шахты и спуске в нее. Сам руководитель горноспасательных работ остается на командном пункте при ответственном руководителе работ по ликвидации аварии. По мере необходимости он может спускаться в шахту для уточнения обстановки на месте, при этом на время своего отсутствия он должен оставить заместителя из лиц командного состава.

Спуск в шахту должен быть тщательно подготовлен. Перед бойцами отделения должны быть поставлены ясные, конкретные задачи с

правильным учетом сложившейся в шахте обстановки. Снаряжение отделения должно соответствовать поставленным перед ним задачам. От тщательности и продуманности подготовки к спуску в шахту в значительной степени зависит успех действий ГВГСС.

### **1.1.3. Непосредственное руководство аварийно-спасательными работами**

Для руководства всем комплексом аварийно-спасательных работ, в том числе для управления всеми службами, участвующими в ликвидации аварии, включая горноспасательные части, цеха и отделы шахты, а также другие организации, создается командный пункт (КП), деятельность которого регламентируется “Положением о командном пункте по руководству аварийно-спасательными работами”. Организуется он, как правило, в кабинете главного инженера шахты, являющегося ответственным руководителем работ по ликвидации аварии.

Возглавляет командный пункт ответственный руководитель работ по ликвидации аварии права, и обязанности которого, определены действующими Правилами безопасности. Он несет ответственность за своевременное осуществление мероприятий, предусмотренных планом ликвидации аварии. До прибытия ответственного руководителя его функции выполняет горный диспетчер шахты.

При возникновении аварии ответственный руководитель работ по ее ликвидации немедленно вводит в действие план ликвидации аварий, обеспечивает магнитофонную запись хода ведения аварийно-спасательных работ, организует ведение оперативного журнала ликвидации аварий по установленной форме, уточняет число людей, застигнутых аварией, их местонахождение, обстановку на аварийном участке, контролирует осуществление режима вентиляции аварийного участка и шахты, предусмотренного планом ликвидации аварий.

Порядок действий и обязанности работников шахты (предприятия) при возникновении и ликвидации аварий, а также правила их поведения в различных аварийных ситуациях определяются Правилами безопасности и другими нормативными документами, действующими на обслуживаемых предприятиях.

Допуск работников шахты (предприятия) для выполнения работ на аварийном участке или его обследования производится только по пропускам и разрешается в каждом отдельном случае ответственным

руководителем работ по ликвидации аварии после согласования с руководителем горноспасательных работ и соответствующей записи в оперативном журнале.

Запрещается допускать на аварийный участок лиц, не имеющих отношения к ликвидации аварии, без разрешения руководителя горноспасательных работ. Для этого в выработках, прилегающих к аварийному участку, выставляются посты безопасности из числа горноспасателей или работников шахты.

Работникам шахты (предприятия), привлеченным к ликвидации аварии, задания выдает ответственный руководитель работ по ликвидации аварии с записью в оперативном журнале шахты (предприятия).

Задания подразделениям ГВГСС ответственный руководитель работ по ликвидации аварии выдает только через руководителя горноспасательных работ.

Руководителем аварийно-спасательных работ в начальный период аварии обычно является командир горноспасательного взвода, обслуживающего данную шахту, или его помощник (под начальным периодом аварии понимается время, в течение которого действует план ликвидации аварии). В дальнейшем эти функции принимает на себя командир горноспасательного отряда и исполняет их в течение всего периода ликвидации аварии.

Руководителю аварийно-спасательных работ задание в письменном виде выдает ответственный руководитель работ по ликвидации аварии. При выдаче задания сообщается следующая информация:

- вид и место аварии, время ее возникновения, возможные размеры зоны поражения;
- число застигнутых аварией людей и предполагаемые места их нахождения;
- меры, принятые до прибытия подразделений ГВГСС в соответствии с планом ликвидации аварии по спасению людей, сокращению зоны поражения и ликвидации аварии, результаты осуществления этих мер (вывод людей, отключение электроэнергии, изменение режима проветривания и др.);
- маршрут движения отделений и состояние выработок по пути следования;
- наличие в шахте (на аварийном объекте) и в горных выработках аварийного участка средств ликвидации аварии.

Руководитель аварийно-спасательных работ должен ознакомиться с заданием, и иметь ясное представление об обстановке, характере, месте и размерах аварии, количестве и месте нахождения застигнутых аварией в шахте людей, общем числе прибывших на шахту респираторщиков, включая респираторщиков прибывших соседних подразделений, средствах для ликвидации аварии (ГВГСС и шахты), состоянии вентиляции выработок и механизмов шахты и др.

После этого руководитель горноспасательных работ принимает решение: определяет цель и способы действия по ликвидации аварии, а также задачи каждого отделения ГВГСС.

Задания, выдаваемые руководителем горноспасательных работ отделениям, записываются в оперативный журнал с обязательной подписью командиров, которые получили эти задания.

Первым отделениям вручается микросхема шахты, на которой указываются время выдачи задания, перечень материалов и оборудования, которые необходимо взять с собой дополнительно. Маршрут движения к месту аварии обозначается на микросхеме сплошной линией.

Прибывший на командный пункт командир горноспасательного отряда или его заместитель ознакомляется с аварийной обстановкой, результатами выполнения мероприятий плана ликвидации аварий, и приступает к исполнению обязанностей руководителя аварийно-спасательных работ, сделав об этом запись в оперативном журнале.

При выдаче задания командирам подразделений ГВГСС, прибывающих на аварийный объект по диспозиции или по указанию Центрального штаба Службы, руководитель аварийно-спасательных работ обязан сообщить:

- место и вид аварии, время ее возникновения, возможную зону поражения выработок, число застигнутых людей и предполагаемые места их нахождения, состояние проветривания шахты и аварийного участка;

- меры, принятые в соответствии с планом ликвидации аварии по спасению людей, сокращению зоны поражения и ликвидации аварии до прибытия на аварийный объект подразделений ГВГСС;

- маршрут движения отделений и состояние горных выработок по пути следования, границы их загазирования;

- оперативные задачи подразделениям, и задания выданные другим отделениям и членам ВГК, работающим в аварийной или в других

выработках, способ и порядок передачи информации с аварийного участка, места размещения средств связи, пожаротушения и подземной базы;

- осложнения, которые могут возникнуть по пути движения отделений и в ходе ликвидации аварии, возможные меры по предупреждению или устранению осложнений.

Начальник штаба ГВГСС обеспечивает правильное взаимодействие ГВГСС при ликвидации аварии, создает необходимые резервы сил и средств ведения аварийно-спасательных работ, участвует в разработке оперативных планов ликвидации аварии. Он имеет право отстранить от обязанностей руководителя горноспасательных работ, если он не справляется с работой, и взять на себя или возложить на другое лицо руководство горноспасательными работами. О замене ответственного руководителя работ по ликвидации аварии издается приказ, копия которого вручается руководителю горноспасательных работ. Дата и время начала исполнения обязанностей вновь назначенным ответственным руководителем работ по ликвидации аварии записываются в оперативном журнале.

На командном пункте обязаны постоянно находиться ответственный руководитель работ по ликвидации аварии, руководитель горноспасательных работ и лица, которым поручено вести оперативную документацию.

В случае разногласия между ответственным руководителем работ по ликвидации аварии и руководителем аварийно-спасательных работ, обязательным к выполнению, является решение первого из них, если оно не противоречит требованиям Устава.

Командный пункт должен быть обеспечен связью с основными объектами ведения аварийных работ, с наземной и подземной базами и другими службами шахты. При этом два основных телефона рекомендуется соединять параллельно, чтобы оба руководителя могли одновременно слушать передаваемую из шахты информацию и давать согласованные распоряжения, не теряя времени на последующую взаимную информацию.

Работники горноспасательных подразделений и члены ВГК обязаны передавать информацию руководителю горноспасательных работ и выполнять только его распоряжения. Решения ответственного руководителя являются обязательными для выполнения всеми лицами, участвующими в ликвидации аварии, в том числе и работниками

ГВГСС, если они не противоречат требованиям Устава ГВГСС по организации и ведению горноспасательных работ.

#### **1.1.4. Содействие деятельности аварийно-спасательных служб при ликвидации аварий**

Огромный поток информации, необходимость быстро принять правильное решение требуют четкой работы всех вспомогательных служб, через которые в основном осуществляет свою деятельность командный пункт.

Поэтому вспомогательные службы должны самостоятельно решать задачи, поставленные перед ними командным пунктом.

Размещаются вспомогательные службы в непосредственной близости от командного пункта и комплектуются соответствующими специалистами. В частности, служба обеспечения принятой организации горноспасательных работ обычно размещается в смежной с командным пунктом комнате. Она комплектуется специалистами-горноспасателями и обеспечивает разработку графиков смены отделений ГВГСС и командного состава на рабочих точках, контролирует режим их работы и отдыха, обеспечивает контроль за доставкой специального оборудования и материалов на рабочие точки в шахте и пополнение ими специальных баз. Служба обеспечения принятой организации работ практически координирует работу большинства вспомогательных служб и является своего рода связующим звеном между ними и командным пунктом. Здесь же концентрируются материалы аварийной лаборатории. На основе анализа проб рудничного воздуха и информации с рабочих точек строятся графики изменения концентрации газов в различных точках аварийных выработок.

Лаборатория размещается в одной из комнат административно-бытового комбината шахты. Здесь круглосуточно дежурят лаборанты, которые обязаны своевременно делать анализ поступающих проб рудничного воздуха. В отличие от обычной, аварийная лаборатория не имеет штата пробоотборщиков и, не составляет планов и графиков отбора проб. Все эти функции соответственно выполняют оперативные отделения ГВГСС и командный состав по заданию командного пункта.

Наземная база размещается в специально выделенном помещении и обеспечивает своевременное и бесперебойное снабжение работаю-

щих подразделений ГВГСС оборудованием и материалами. Начальником базы назначается лицо командного состава ГВГСС. Перечень материалов и оборудования на базе определяется руководителем горноспасательных работ исходя из характера аварии, ее сложности и количества работающих подразделений. Начальник базы, кроме того, несет ответственность за организацию ремонта аппаратуры и оборудования, наличие кислорода и химического поглотителя.

Подземная база организуется в горной выработке со свежей струей воздуха, вблизи от мест ведения аварийных работ. Здесь же размещаются резервные отделения, а также происходит смена работающих отделений. При крупных авариях с подземной базы осуществляется руководство аварийно-спасательными работами, выполняемыми в нескольких рабочих точках одновременно. В таких случаях на подземную базу, кроме телефониста и связных, назначается старший командир - руководитель аварийно-спасательных работ в шахте. Подземная база должна иметь постоянную связь с работающими отделениями и командным пунктом. Как правило, на подземной базе размещаются: запасные баллоны с кислородом и резервные патроны по числу работающих респираторщиков, аккумуляторные светильники в количестве не менее 25% от числа работающих респираторщиков, аппараты для искусственного дыхания, медикаменты, бак с кипяченой водой, дезинфицирующий раствор для смывания мундштуков, носилки, теплая одежда, различное оборудование, материалы и инструменты.

В работах по ликвидации аварий участвуют не только горноспасательные части. К этим работам привлекаются также члены вспомогательных горноспасательных команд и инженерно-технические работники шахт. При возникновении крупных аварий создаются группы специалистов, в обязанности которых входит анализ сложившейся аварийной ситуации на шахте или на отдельных ее участках, выбор наиболее эффективного способа борьбы с аварией, выполнение необходимых инженерных расчетов, касающихся проветривания, надежности изоляционных сооружений и т. д.

Служба главного механика и энергетика, как правило, выполняет все работы по обеспечению аварийного водоснабжения, наладке и пуску машин и механизмов, по изготовлению различных приспособлений и технических средств.

## 1.2. Организация аварийно-спасательных работ

Организация аварийно-спасательных работ имеет большое значение для быстрейшего оказания помощи застигнутым аварией в шахте людям и ликвидации аварии.

Особенно четко должны быть организованы аварийно-спасательные работы в начальный период аварии, когда правильное решение, своевременно принятое и быстро выполненное, может спасти многих находящихся в шахте людей и свести к минимуму ущерб от аварии. В этот период ответственный руководитель работ по ликвидации аварии должен проверить, вызваны ли аварийно-спасательные подразделения, дать указания о выводе людей из опасных участков, организовать сбор членов вспомогательных аварийно-спасательных подразделений (например, ВГК) и дать распоряжения о мероприятиях по ликвидации аварии.

На командном пункте разрешается нахождение лишь лиц, привлекаемых к ликвидации аварии. Командный пункт должен иметь связь с местами ведения аварийно-спасательных работ и специальными аварийно-спасательными службами.

Руководитель аварийно-спасательных работ должен находиться на командном пункте. При его отсутствии (спуск в шахту, отдых) на командном пункте остается его заместитель, о чем делается запись в оперативном журнале.

Аварийно-спасательные работы состоят из разведки аварии, вывода застигнутых аварией людей, оказания им первой помощи, организации службы тыла и действий по ликвидации аварии. При ликвидации аварий в шахтах, служба тыла включает подземную и наземную базы, связь, медицинское обеспечение и газоаналитическую лабораторию.

В зависимости от условий аварийно-спасательные работы могут проводиться путем организации работ точек, участков и районов.

Рабочей точкой называется место ведения аварийно-спасательных работ, которое обеспечивается действием одного отделения. Участком аварийно-спасательных работ называется несколько рабочих точек, близко расположенных друг от друга, тактически объединенных и находящихся под непосредственным руководством командира взвода. Районом аварийно-спасательных работ называется несколько аварийно-спасательных участков, удобно расположенных в сети горных вы-

работок для непосредственного руководства командиром отряда. При определенных обстоятельствах может возникнуть необходимость в организации таких рабочих точек, участков и районов, которые подчиняются непосредственно руководителю аварийно-спасательных работ. Такие рабочие точки, участки и районы называются отдельными.

Описанная организация работ (отделение-взвод-отряд) применяется при длительных авариях. При мелких авариях, а также в начальный период ликвидации любых аварий аварийно-спасательные работы обычно проводятся отдельными подразделениями.

### **1.2.1. Основные положения Устава ГВГСС по организации и ведению горноспасательных работ**

Устав ГВГСС содержит свод правил, регламентирующих организацию, последовательность проведения аварийно-спасательных работ, управление этими работами и особые требования безопасности в период спасения людей и ликвидации аварий на объектах, обслуживаемых подразделениями Государственной военизированной горноспасательной службы.

Требования Устава обязательны для выполнения командным и рядовым составом подразделений ГВГСС, членами вспомогательных добровольных подразделений обслуживаемых объектов, рабочими, служащими и инженерно-техническими работниками предприятий и организаций, участвующих в аварийно-спасательных работах. Отступления от требований Устава не допускаются.

Аварии, возникающие на горнодобывающих предприятиях, сопровождаются образованием зоны поражения. Под зоной поражения понимается сеть горных выработок или комплекс поверхностных зданий и сооружений, в которых действует (или действовал) хотя бы один из опасных факторов, приводящих к травме, отравлению или гибели человека, а также к частичному или полному выходу из строя материальных ценностей. Опасными факторами аварий являются: ударная волна, снижение в шахтной атмосфере концентрации кислорода, превышение норм содержания взрывоопасных и вредных газов и веществ, повышенная температура, задымленность, обрушение пород, затопление и др.

К авариям на обслуживаемых подразделениями ГВГСС объектах относятся пожары, взрывы газо-воздушных смесей и угольной пыли,

внезапные выбросы угля, породы и газа, загазирование горных выработок, затопления выработок водой, обрушения горных пород, проникновение в выработки вредных и ядовитых химических веществ и др.

При возникновении аварии профессиональные горноспасательные подразделения выполняют только те работы, которые требуют применения средств защиты органов дыхания и специального оснащения. При отсутствии такой потребности аварийно-спасательные работы выполняются работниками предприятий.

Основными видами аварийно-спасательных работ, выполняемых подразделениями ГВГСС, являются:

- спасение людей застигнутых авариями в шахтах и на других обслуживаемых объектах;

- ликвидация аварий и их последствий в шахтах и на поверхности шахт, если эти аварии угрожают людям и материальным ценностям, находящимся в горных выработках, а также на угольных разрезах, обогатительных и брикетных фабриках и других обслуживаемых объектах;

- аварийно-спасательные работы, выполняемые в соответствии с планами взаимопомощи со спасательными службами других отраслей и стран, а также единой государственной системой действий в чрезвычайных ситуациях;

- работы неаварийного характера, выполняемые с применением средств защиты органов дыхания и горноспасательного оснащения;

- оказание медицинской помощи силами реанимационно-противошоковых групп (РПГ) пострадавшим от несчастных случаев и аварий.

Организация аварийно-спасательных работ определяет действия исполнителей при ликвидации аварий и их последствий и предусматривает следующие основные мероприятия:

- определение зоны поражения от возникшей аварии, прогноз параметров ее развития и возможных последствий для людей и материальных ценностей;

- выбор основного направления и технологии сокращения зоны поражения, спасения людей и ликвидации аварии с учетом конкретных условий, сложившихся на аварийном объекте;

- сосредоточение на аварийном объекте необходимых сил и специальных технических средств, своевременное и обоснованное введение их в действие;

- обеспечение безопасности ведения работ, оперативное устранение возникающих осложнений;

- создание резерва сил и технических средств для быстрого ввода их в действие при осложнении аварийной обстановки, обеспечение условий для размещения резерва на длительный срок.

Организация ведения аварийно-спасательных работ определяется планом ликвидации аварий, выбранной технологией и разработанными на этой основе оперативными планами ликвидации аварий.

### **1.2.2. Действия членов ВГК в начальный период возникновения аварии**

При возникновении аварии ответственный руководитель работ по ее ликвидации направляет (в соответствии с планом ликвидации аварии) членов ВГК аварийного и смежных участков (выработок) на спасение людей и ликвидацию аварии. При этом члены ВГК используют дыхательные аппараты, техническое оснащение и противоаварийные средства, размещенные в горных выработках и подземных пунктах ВГК.

Командир взвода шахтной горноспасательной станции (ШГС) и его помощник, получив сообщение об аварии, действуют по указанию ответственного руководителя работ по ликвидации аварии.

После прибытия на командный пункт руководителя горноспасательных работ они поступают в его распоряжение.

Руководство членами ВГК на аварийном участке до прибытия отделений ГВГСС осуществляет старшее лицо технического надзора, находящееся на аварийном участке. В его распоряжение поступают и члены ВГК, прибывающие из других участков.

При пожаре, взрыве, внезапном выбросе угля, породы и газа члены ВГК аварийного участка, оказавшиеся за очагом аварии (по ходу движения вентиляционной струи), включаются в респираторы или изолирующие самоспасатели, организуют включение в самоспасатели застигнутых людей и их вывод (или вынос) пострадавших из зоны поражения на свежую струю воздуха, оказывают первую помощь, докладывают об обстановке в аварийных выработках ответственному ру-

ководителю работ по ликвидации аварии. Запрещается повторное вхождение членов ВГК в аварийные выработки со стороны нисходящей струи воздуха в самоспасателях.

Члены ВГК, находящиеся на свежей струе воздуха до очага аварии, обязаны:

- лично или через посыльного сообщить об аварии горному диспетчеру (начальнику смены) и информировать его или главного инженера об обстановке на аварийном участке;

- выполнить указания ответственного руководителя работ по ликвидации аварии по осуществлению первоочередных мероприятий, предусмотренных планом ликвидации аварии;

- при пожаре - немедленно приступить к его тушению, используя ручные огнетушители, песок, инертную пыль, воду из пожарноросительного трубопровода, привлекая к этому находящийся поблизости персонал;

- при взрыве - включиться в респираторы и следовать к месту аварии для оказания помощи пострадавшим, вывода их на поверхность и тушения возможных очагов горения;

- при внезапном выбросе угля породы и газа - включиться в респираторы и приступить к оказанию необходимой помощи пострадавшим, используя спасательные пункты групповой защиты и резервные изолирующие самоспасатели;

- при обрушении - подавать сигналы для установления связи с застигнутыми людьми, оценить обстановку и организовать спасение людей, осуществить меры безопасности (усилить крепь, исключить возможность повторных обрушений и др.).

При пожаре в тупиковой выработке члены ВГК наряду с вышеуказанными действиями, должны обеспечить устойчивую работу вентилятора местного проветривания аварийной выработки и тушить пожар имеющимися в выработке средствами. Если потушить пожар не удастся, нужно выйти из выработки на свежую струю. Перед уходом необходимо открыть краны (разгерметизировать) хотя бы на одном из проложенных в выработке трубопроводов. Работающий ВМП не оттапливать.

После прибытия на аварийный участок отделений ГВГСС члены ВГК информируют старшего командира о сложившейся обстановке, состоянии работ по спасению людей и ликвидации аварии и поступают в его распоряжение.

В ходе дальнейшей ликвидации аварии члены ВГК привлекаются в качестве сопровождающих горноспасательные отделения на аварийный участок, а также в составе отделений выполняют в загазированных выработках работы по доставке материалов, управлению механизмами, монтажу и демонтажу оборудования и др. При этом численный состав членов ВГК должен быть, как правило, не более двух человек на отделение.

### **1.2.3. Действия горноспасателей после вызова на объект**

Прибыв на аварийный объект, командный состав горноспасательных подразделений направляется на командный пункт (КП) за получением задания, а личный состав готовится к спуску в шахту с оснащением, соответствующим виду аварии. Задание командиру взвода (помощнику командира отряда), прибывшему с первыми отделениями (отделением), ответственный руководитель работ по ликвидации аварии (главный инженер) выдает задание в письменном виде. Полученное задание доводится до командиров отделений, которые направляются в шахту на выполнение задания.

Первым отделениям, направляющимся в шахту, выдается микро-схема с нанесением пути движения к месту аварии, времени выдачи задания и перечня материалов и оборудования, которые необходимо взять с собою. Задания, полученные первыми отделениями, записываются в оперативный журнал и подписываются командирами отделений.

До прибытия командира отряда или его заместителя первый прибывший командир взвода (помощник командира отряда) руководит ведением аварийно-спасательных работ на КП. Все задания, выдаваемые руководителем аварийно-спасательных работ последующим отделениям, записываются в оперативный журнал с обязательной подписью командиров, получивших задание.

Прибывший на КП командир отряда (его заместитель) знакомится с аварийной обстановкой, полученными результатами выполнения мероприятий ПЛА, введенными силами и средствами и приступает к исполнению обязанностей руководителя горноспасательных работ; назначает руководителя работ проводимых в шахте или другом объекте (не ниже командира взвода), организует при КП группу специалистов ГВГСС для ведения всей оперативно-технической документации,

выполнения анализа поступающей информации об обстановке в шахте, обоснования и подготовки мероприятий для оперативных планов ликвидации аварии, выполнения технических расчетов и других заданий.

На КП в период ликвидации аварий, кроме оперативных журналов шахты и ГВГСС, ведутся журналы учета работы отделений и анализов проб шахтного воздуха. При сложных и затяжных авариях составляются графики очередности работы отделений и командного состава, таблицы и графики изменения газового состава и расхода шахтного воздуха в точках их измерения, выполняются эскизы и схемы отдельных зон аварийного участка, вентиляционных соединений, возводимых устройств и перемычек. При необходимости организуются: подземные газоаналитическая лаборатория и пункт медицинского обеспечения.

Ответственный руководитель работ по ликвидации аварии обязан обеспечить устойчивую связь руководителя горноспасательных работ с находящимися в шахте оперативными подразделениями и другими службами ГВГСС. Руководитель аварийно-спасательных работ в шахте осуществляет контроль за наличием постоянной связи между подземной базой и работающими в загазованных и задымленных выработках отделениями.

#### **1.2.4. Организация и проведение разведки аварийных выработок**

Если к моменту прибытия первых отделений на шахту не все находившиеся в ней люди вышли самостоятельно или выведены членами ВГК на поверхность, а также недостоверно известна обстановка в горных выработках, то силами ГВГСС организуется разведка.

Задачами разведки являются:

- розыск, установление числа и спасение застигнутых аварией в шахте людей;
- выяснение обстановки на месте аварии, ее характера и масштаба;
- установление состояния вентиляции, задымленности и загазованности атмосферы, направления движения воздуха, состояния вентиляционных сооружений, вентиляторных установок, трубопроводов сжатого воздуха и прочих средств вентиляции и выполнение работ по

восстановлению вентиляции (навешивание брезентовых перемычек и др.);

- установление состояния выработок, мест и размеров завалов, затоплений и т. п.;

- установление кратчайших путей к местам нахождения застигнутых аварией людей и к месту аварии;

- установление наличия материалов и средств для ликвидации аварии;

- выполнение первоначальных работ по ликвидации аварии, разборка завалов;

- подкрепление выработок для обеспечения обратного выхода; установление наличия и исправности телефонной связи.

Конкретные задачи разведки в каждом случае зависят от характера аварии и создавшихся условий. При постановке задачи следует учитывать всю имеющуюся информацию об аварии. Задачи разведки должны также быть посильными для исполнителей.

Разведка может выполняться одним из следующих способов:

- непосредственным наблюдением;

- с помощью соответствующих работ (аварийно-спасательных, буровых и др.);

- опросом работников шахты;

- изучением документов (планов, схем и т. п.).

Организует разведку руководитель аварийно-спасательных работ. Руководить разведкой может любой командир ГВГСС. В особо сложных условиях, при одновременном ведении разведки в нескольких направлениях, руководить разведкой должен командир отряда или его заместитель.

Руководитель разведки должен получить от руководителя работ по ликвидации аварии или руководителя аварийно-спасательных работ подробную информацию об обстановке на аварийном участке и должен быть обеспечен необходимым количеством отделений, специальными техническими средствами для выполнения задания и обеспечения безопасности личного состава.

Руководитель разведки обязан:

- знать основную задачу разведки, маршрут движения и его особенности (пересечения и разветвления выработок, места нарушения крепи, затопления, загромождения оборудованием, и пр.), установленный вентиляционный режим, предполагаемое число и местонахо-

ждение, застигнутых аварией людей, местонахождение подземной базы и резервных отделений, способ и средства связи с резервом и командным пунктом;

- наметить и уточнить ориентиры;
- подробно разъяснить отделению (отделениям) задачу и меры безопасности, маршрут и порядок движения;
- произвести предварительный расчет расхода кислорода, исходя из установленных Уставом скорости передвижения отделений и норм расхода кислорода.

Значения скоростей движения горноспасателей при различных условиях разведки и полной видимости выбираются из таблиц нормативно-правовых актов и других документов, в которых приведены поправочные коэффициенты на нагрузку респираторщика, пройденое им расстояние, условия видимости и температуру, учет которых необходим при определении скорости движения.

В разведку в непригодной для дыхания атмосфере направляется не менее пяти человек, включая командира отделения.

Каждому ушедшему в разведку отделению на подземной базе должен быть выставлен резерв для оказания при необходимости соответствующей помощи. В сложных условиях резерв должен быть двойной или тройной.

Для оказания помощи и поддержки в особо сложных условиях в разведку посылаются несколько отделений, одно за другим на расстоянии слышимости звукового сигнала, а при спасении людей - через каждые 20-30 мин.

Уходящее в разведку отделение снабжается респираторами, лампами и минимально необходимым снаряжением, которое включает вспомогательный изолирующий респиратор, ручные носилки, брезентовые перемычки, набор инструментов (топор, ножовка, гвозди), аппарат связи, нить связи, соответствующую длине маршрута, пять изолирующих самоспасателей, аппарат искусственного дыхания, медицинскую сумку и бюретки для набора проб воздуха. При поиске людей отделение берет с собой дополнительное количество изолирующих самоспасателей. В зависимости от характера аварии берется и другое снаряжение (огнетушители, приспособление для промежуточного подсоединения к водопроводу, пожарный рукав и др.).

Выбор отделения, уходящего в разведку, должен быть тщательно продуман и соответствовать характеру аварии и задачам отделения.

При хорошей видимости порядок движения отделения в разведке - в колонне по одному с интервалом 1-2 м, при плохой видимости - со сдвигом, чтобы не пройти мимо пострадавшего.

При входе в выработку с непригодной для дыхания атмосферой после беглой проверки респираторов отделение включается в аппараты, командир делает запись в блокноте о времени включения в респираторы и давлении на манометре. На стенке выработки вешается красный фонарь, мелом отмечается время ухода в загазованную среду, температура и газовый состав воздуха. Эти данные заносятся и в блокнот.

Разведка в загазированной и задымленной атмосфере в условиях плохой видимости должна выполняться в респираторах с масками и переговорными устройствами, а личный состав отделений при передвижении обязан использовать соединительные шнуры и прокладывать по маршруту движения линию связи для передачи информации резервному отделению на подземную базу или командный пункт. При передвижении отделение располагается по диагонали так, чтобы командир отделения двигался у одной стенки выработки, а замыкающий - у противоположной.

Газовый состав обычно определяется экспресс-анализом переносными приборами и химическими газоопределителями, температура - ртутным термометром. Задымленность, видимость оцениваются визуально по расстоянию, при котором еще виден респиратор на спине впереди идущего горноспасателя. При видимости менее 10 м скорость передвижения отделения уменьшается, например при видимости 5 м расчетная скорость передвижения в два раза меньше, чем при полной видимости, при 2 м - в четыре раза меньше. Между собою личный состав пользуется звуковой и световой сигнализацией, а при респираторах с панорамной маской - разговорной речью. При разветвлениях выработок оставляются условные знаки, указывающие направление движения отделения. На аварийных участках со сложной сетью выработок в состав отделений могут включаться опытные члены ВГК, но не более одного человека на отделение.

При обнаружении пострадавшего в загазированной атмосфере отделение обязано оказать ему помощь и вынести в выработку со свежей струей или доставить на подземную базу. На месте обнаружения пострадавшего отбирается проба воздуха и оставляется опознаватель-

ный жетон. Дубликат жетона прикрепляется на кисть руки пострадавшего.

После передачи пострадавшего резервному отделению или медицинскому персоналу можно продолжать разведку. Запрещается использовать отделение для эвакуации людей по выработкам со свежим воздухом в тех случаях, когда в загазированных выработках имеются пострадавшие, нуждающиеся в помощи.

В ходе разведки в первую очередь обследуются выработки, в которых исходя из полученной от работников шахты информации, может находиться наибольшее количество людей. Поиск застигнутых аварией людей осуществляется визуально, а также путем подачи звуковых и световых сигналов всеми возможными средствами, особенно при обрушениях в выработках и их засыпке выброшенным углем, породой.

Отделение, ушедшее в разведку, возвращается в следующих случаях:

- при обнаружении в разведываемой тупиковой выработке взрывоопасной концентрации метана;
- при израсходовании расчетного количества кислорода на движение вперед;
- при резком возрастании температуры воздуха в выработке на 3 °С и более за 5 мин или истечении допустимого времени пребывания в зоне повышенных температур;
- при выходе из строя респиратора или плохом самочувствии одного из состава отделения;
- при достижении непроходимого завала, требующего длительного времени на разборку.

О причинах возвращения командир, возглавляющий разведку, сообщает на подземную базу или командный пункт. Отделение должно возвращаться в полном составе, запрещается оставлять в загазованной выработке отдельных респираторщиков. В случае необходимости оказания помощи одному или нескольким респираторщикам немедленно сообщается об этом резервному отделению на подземную базу и транспортируют пострадавших на свежую струю. Если всех пострадавших невозможно одновременно эвакуировать, тогда оставшимся пострадавшим (до прихода резерва) оказывают помощь горноспасатели, в респираторах которых имеется достаточный запас кислорода для

нахождения с пострадавшими и последующего выхода на свежую струю.

При ведении разведки в выработках с повышенной температурой (более 26 °С) должны применяться респираторы с охлаждающими элементами, а при температурах выше 31 °С - дополнительно и противотепловые куртки и терможилеты.

В ходе ведения разведки ее руководитель по связи периодически докладывает на командный пункт об обстановке на маршруте и о своих действиях. После выезда из шахты он лично информирует руководителя аварийно-спасательных работ о полученных при разведке сведениях, о проведенных работах по спасению людей, оказанию им помощи, о мерах по сокращению размеров зоны поражения, восстановлению проветривания и т.д., а также записывает в оперативный журнал результаты разведки, составляет схемы и эскизы аварийного участка или выработки.

При сложных и затяжных авариях для разработки оперативных планов, предусматривающих изменение технологии ведения работ, возможна организация специальной инженерной разведки. В состав исполнителей такой разведки обычно включаются специалисты и научные работники, подготовленные для работы в загазованной среде в изолирующих самоспасателях или респираторах.

### **1.2.5. Оперативное планирование аварийно-спасательных работ**

Если после осуществления в полном объеме мероприятий, предусмотренных ПЛА, аварию не удалось ликвидировать, в шахте остались застигнутые аварией люди, то дальнейшее проведение аварийно-спасательных работ ведется в соответствии с разрабатываемыми оперативными планами. К этой работе должна привлекаться созданная при командном пункте группа специалистов ГВГСС, других организаций и учреждений.

В оперативный план закладывают решения по технологии дальнейшего проведения спасательных работ, способом предотвращения развития аварии и осложнений обстановки, техническим средствам и тактическим приемам ликвидации аварии и ее последствий, выбор которых базируется на имеющейся информации, в том числе полученной при разведке, о сложившейся на данный момент обстановке на

аварийном участке (выработке) и в прилегающих выработках, на технических возможностях горноспасательной техники и оснащения и на других особых факторах, включая моральные, физиологические и социальные.

Оперативный план ликвидации аварий разрабатывают руководители ликвидации аварии и аварийно-спасательных работ. К обоснованию способов спасения людей и ликвидации аварии, выбору надежного вентиляционного режима проветривания, способов предотвращения увеличения газовыделения на аварийном и смежном участках, расчету различных типов перемычек, мест их безопасного возведения, к разработке рекомендаций и решению ряда специфических вопросов могут привлекаться группы специалистов научно-исследовательских и других организаций. Выполненные расчеты, разработанные предложения и рекомендации передаются на КП. Руководители работ могут принимать советы и рекомендации от вышестоящих должностных лиц и органов, экспертных советов и отдельных специалистов. Однако это не снимает с них ответственности за правильное и безопасное ведение всех работ. Окончательное решение принимает ответственный руководитель ликвидации аварии.

Оперативный план подписывают руководители ликвидации аварии и аварийно-спасательных работ. В оперативном плане отражается обстановка на аварийном участке на время (дата, час) его разработки, указываются последовательность выполнения мероприятий по осуществлению принятой технологии ликвидации аварий, вводимые силы и технические средства, меры предотвращения возможных осложнений обстановки и обеспечения безопасности работающих отделений, сроки выполнения мероприятий и ответственные лица со стороны горноспасательной службы. В ходе реализации мероприятий оперативного плана при изменениях обстановки он может корректироваться. При непредвиденном изменении обстановки, особенно при возникновении опасности взрыва, обширного обрушения, затопления и других угрожающих факторов руководителями принимаются экстренные решения, которые записываются в оперативные журналы шахты и горноспасательной службы.

В случаях, когда выполненные мероприятия оперативного плана не позволили окончательно ликвидировать аварию и устранить ее последствия, аналогичным образом разрабатываются второй и последующие оперативные планы.

В ходе ведения аварийно-спасательных работ задействуется не только горноспасательное оснащение и техника, но и оборудование шахты, например лебедки, насосы, буровые станки, вентиляторы местного проветривания, электровозы, вагонетки, конвейеры и т.д. Для их обслуживания в выработках со свежей струей воздуха, обычно привлекается персонал шахты, имеющий право работы на этом оборудовании. Ответственность за доставку материалов аварийного назначения по выработкам вне зоны поражения аварией возлагается на руководителя подземного транспорта и специально назначенное лицо технического надзора шахты. Доставка материалов и оборудования аварийного назначения на поверхности и по выработкам со свежей струей воздуха осуществляется работниками шахты.

### **1.2.6. Основные технологии ликвидации аварий**

Понятие "технология ликвидации аварии" включает совокупность тактических действий и очередность введения сил и технических средств для спасения застигнутых аварией горняков, сокращения зоны поражения выработок, обеспечения эффективности и безопасности аварийно-спасательных работ, полного устранения признаков проявления аварии и ее последствий.

По выполняемой задаче различают следующие виды технологий:

- непосредственная ликвидация аварии;
- локализация для предотвращения расширения размеров зоны поражения;
- изоляция очага аварии от сети горных выработок;
- обход (оконтуривание) аварийной зоны;
- комбинированная технология.

Вид технологий, закладываемых в ПЛА, в оперативные планы, принимается на основании анализа следующих факторов: характер аварии и место ее возникновения, наличие подходов к зоне развития аварии, наличие и предполагаемые места нахождения в шахте застигнутых аварией людей, температурная и газовая обстановка в аварийных и прилегающих к ним выработках, наличие средств противоаварийной защиты и их состояние, активность развития аварии (пожара).

Все виды технологий могут быть реализованы по нескольким вариантам. Непосредственная ликвидация аварии может осуществляться прямым (для пожара обычно со стороны поступающей струи) или

дистанционным воздействием (с безопасного расстояния). При пожарах огнетушащая способность используемых материалов и технических средств должна превышать возможные параметры распространения пожара. Технология непосредственного воздействия должна обеспечивать постепенное сокращение размеров зоны распространения аварии, например, протяженности выработки, охваченной пожаром, и непроходимого завала от обрушившейся породы или выброшенных угля и породы. Непосредственное воздействие осуществляют члены ВГК, подразделения ГВГСС, а в ряде случаев - автоматические установки пожаротушения.

Технология локализации аварии (предотвращения ее распространения) включает активные действия обычно со стороны исходящей или с обеих сторон. Основные действия: сокращение подачи воздуха к очагу пожара для снижения интенсивности горения, закрывание пожарных дверей, ляд, возведение перемычек, создающих преграды для распространения пожара, установка охлаждающих водяных и пенных завес на пути распространения огня, устройство противопожарных разрывов посредством уборки всех горючих материалов, а также сочетание указанных мер.

Технология изоляции очага аварии предусматривает отделение выработки или системы выработок от соседних выработок, обычно аэродинамически связанных с аварийными выработками. Эта технология осуществляется путем возведения специальных изолирующих сооружений - перемычек рубашек, покрытий и др. К изоляции обычно переходят в следующих случаях: активная ликвидация очагов горения не обеспечивает предотвращение распространения пожара; отсутствуют подступы для непосредственной ликвидации, на аварийном участке существует угроза создания взрывоопасной обстановки. Изоляция может осуществляться возведением одинарных и двойных перемычек с заполнением пространства между последними изоляционным материалом. В изолированную зону обычно подаются инертные газы, воздушно-механическая пена, заиловочная пульпа, гипсовый раствор, вода. На газообильных шахтах должны возводиться взрывоустойчивые изолирующие перемычки и обычно осуществляется инертизация изолированного объема выработок. Работам по изоляции аварийного участка на газообильных шахтах должны предшествовать расчеты параметров перемычек, безопасных мест их возведения, расхода воздуха по участку в процессе ведения работ по изоляции и последующей

инертизации, а также организован контроль газового состава и расхода воздуха, обеспечены меры безопасности работающих отделений.

Технология обхода и оконтуривания зоны аварии применяется при ликвидации последствий обрушений и внезапных выбросов, реже - при тушении пожаров. В первую очередь должны осуществляться работы по восстановлению проветривания, поиску отрезанных аварийей от выработок пострадавших и оказанию или помощи. Такой технологией предусматривается проведение поисковых, спасательных и обходных выработок по углю и обрушенным породам. Выработки могут проводить вприсечку по пласту угля и по завалу за посадочным креплением. К месту нахождения людей могут бурить скважины и прокладывать трубопровод, производить разборку завалов и уборку выброшенного угля. В лавах крутого падения обычно осуществляются выпуск угля и обрушенных пород, из кутков сохранившихся уступов проводят обходные выработки, вскрывающие уступы, где могут находиться люди. Проведение обходных, поисковых и спасательных выработок должно осуществляться по специально разработанным технологическим паспортам.

Технологией комбинированного воздействия предусматривается последовательное и одновременное применение различных способов ликвидации аварий. Такая технология применяется при тушении пожаров с большой зоной поражения и высокой скоростью распространения. Аварийный участок изолируют, затем производят дистанционную подачу огнетушащих веществ в зону горения по трубопроводам или скважинам. Возможно также после быстрой изоляции аварийного участка на всех подступах последующее вскрытие отдельных перемычек для непосредственного тушения очагов горения с постепенным сокращением размеров зоны горения.

При всех технологиях должны приниматься меры по предотвращению взрывов газа и пыли, а также недопущению образования преград для выхода отделений с места ведения работ.

### **1.2.7. Мероприятия, направленные на сокращение времени к началу ликвидации аварии**

Успех и продолжительность ликвидации аварии, причиненный аварией материальный ущерб существенно зависят от промежутка времени между возникновением аварии и началом ведения работ по

ликвидации признаков аварии, и ее последствий. Чем меньше этот промежуток времени, тем меньше зона поражения выработок развивающейся аварией. В сокращении зоны поражения важным мероприятием является своевременное осуществление эффективного аварийного вентиляционного режима, обеспечивающего устойчивость проветривания аварийного и других участков, возможность выхода людей на свежую струю и передвижения горноспасателей к аварийному участку, предотвращающего создание взрывоопасной газовой обстановки и быстрое распространение пожара по выработкам.

Фактор времени относится как к исполнителям, так и к применяемым техническим средствам. В начальной стадии развития аварий их ликвидацией должны заниматься члены ВГК и ИТР, находящиеся в шахте. Расстановка членов ВГК по рабочим местам должна обеспечить прибытие первого члена ВГК с респиратором и необходимым оснащением к месту аварии не позже, чем через 30 мин после ее обнаружения. Члены ВГК других участков, получив извещение, должны также следовать на ее ликвидацию в соответствии с ПЛА.

Время прибытия первых профессиональных горноспасательных подразделений к месту аварии складывается из времени, прошедшего от момента обнаружения признаков аварии, до времени вызова взвода диспетчером шахты, времени посадки отделения в оперативный транспорт (днем до 60, ночью до 120 с), времени следования от расположения подразделения до шахты, времени получения задания и подготовки к спуску в шахту, времени передвижения по горным выработкам.

В соответствии с Постановлением Кабинета министров Украины от 05.11.92 №608 все органы государственной и исполнительной власти должны обеспечивать незамедлительную отправку личного состава горноспасательных подразделений и специального оснащения на аварийные объекты всеми возможными видами транспорта. О вынужденных остановках в пути следования старший командир должен поставить в известность ближайшее горноспасательное подразделение и руководителя аварийного объекта для принятия незамедлительных мер по доставке личного состава и оснащения. В выработках, оборудованных механической доставкой, при допустимом содержании взрывоопасных газов эти транспортные средства должны использоваться для доставки отделений. Скорость пешего передвижения горноспасателей по выработкам с различными углами наклона со свежей

и непригодной для дыхания средой в условиях полной видимости и при задымленности регламентируется Уставом ГВГСС. Нормативная скорость передвижения зависит также от средней нагрузки на респираторщика, температуры воздуха в выработке, выполняемого вида работ (транспортировка пострадавшего, движение при разведке, движение на ликвидацию аварии), направления движения (вниз или вверх), высоты выработки и уже пройденного расстояния. Например, при движении в разведку вверх по выработке с углом наклона 15 °С и высотой 2,0 м в непригодной для дыхания среде с температурой не ниже 27 °С при полной видимости и нагрузке на респираторщика до 15 кг в начале пути скорость равна 25,9 м/мин, после прохождения 2,5 км расчетная скорость 21,8 м/мин. Если видимость снизилась до 5 м при той же температуре, то скорость уменьшается вдвое, а при одновременном снижении видимости до 5 м и повышении температуры, например до 32 °С скорость должна составлять 0,43...0,44 от начальной.

Одновременно с выездом оперативных отделений в зависимости от вида аварии, указанного при вызове, доставляются на шахту технические средства и специальное оснащение, предусмотренные диспозицией выездов. Продолжительность времени от момента поступления вызова или принятия решения о применении конкретного вида оборудования складывается из времени доставки на шахту, подготовки его к спуску в шахту, доставки по стволу и другим горным выработкам к месту назначения, его монтажа, доставки необходимых материалов аварийного назначения, подготовки оборудования к работе и его энергообеспечения. Ориентировочно на подготовку технических средств к спуску в шахту затрачивается от 10 до 30 мин, а на монтаж и подготовку к работе мощной пожаротушающей техники и средств инертизации - до 60 мин.

### **1.2.8. Оперативные действия ГВГСС при ликвидации различных видов аварий**

При взрыве метана или угольной пыли в первую очередь необходимо:

- установить место взрыва, определить зону поражения и действия по ее сокращению;

- определить количество и места нахождения людей и направить горноспасательные отделения и реанимационно-противошоковые группы (РПГ) на спасение людей и оказание им помощи;

- сосредоточить на аварийном объекте и в горных выработках необходимое количество отделений, РПГ, специальной аппаратуры и медикаментов для оказания помощи пострадавшим;

определить порядок передачи информации с аварийного участка на командный пункт.

При разработке первого оперативного плана ликвидации последствий взрыва метана или угольной пыли должны предусматриваться следующие мероприятия:

- восстановление нормального проветривания на аварийном участке и разгазирование пораженных выработок;

- обеспечение устойчивой оперативной связи со всеми местами ведения работ;

- действия по тушению возможных очагов пожаров;

- действия по обеспечению безопасных условий ведения аварийно-спасательных работ.

Мероприятия последующих оперативных планов обосновываются конкретной обстановкой на аварийном участке и принятой технологией ликвидации последствий взрыва.

При ликвидации последствий внезапных выбросов угля, породы и газа, наряду с действиями по спасению людей, к числу первоочередных относятся следующие мероприятия:

- разгазирование аварийных выработок и восстановление нормального проветривания;

- предупреждение взрывов метана и угольной пыли в месте ведения работ и в прилегающих выработках;

- предупреждение самовозгорания выброшенного угля, скопленной воды над выброшенным углем и ее прорыва на нижележащие горизонты;

- обеспечение безопасных условий для исполнителей работ.

При ликвидации последствий обрушений в горных выработках необходимо:

- определить место и зону обрушения;

- установить число застигнутых аварией людей и места их нахождения;

- определить действия горноспасательных отделений по разборке завала или проведению специальных поисковых выработок;
- принять меры по ускорению аварийно-спасательных работ;
- предусмотреть и осуществить меры по обеспечению безопасных условий в местах ведения работ по ликвидации последствий обрушений.

При ликвидации последствий прорыва в горные выработки воды, пливунов и заиловочной пульпы первоочередные действия подразделений ГВГСС должны быть направлены на установление места и источника аварии, определение мест нахождения людей и оказание им помощи, предупреждение распространения аварии, восстановление нормального проветривания на аварийном участке.

Ликвидация последствий прорывов воды, пливунов и заиловочной пульпы должна проводиться по специальным проектам и паспортам, в которых предусматриваются:

- маршруты движения и порядок действия отделений при ликвидации последствий аварии;
- меры предосторожности при ведении аварийно-спасательных работ;
- режим проветривания аварийных выработок;
- порядок организации связи со всеми местами ведения работ;
- места контроля состава рудничной атмосферы и отбора проб воздуха;
- выкопировки из маркшейдерских планов горных работ.

При тушении пожаров, ликвидации последствий взрывов, внезапных выбросов, загазирования и других аварий, связанных с нарушением проветривания, подача электроэнергии в шахту, на отдельные участки (выработки) производится только по письменному разрешению ответственного руководителя работ по ликвидации аварии и руководителя горноспасательных работ (с записью в оперативном журнале) после выполнения следующих мероприятий:

- обеспечения нормального проветривания и создания в выработках аварийного участка невзрывоопасной атмосферы;
- обследования аварийного участка (выработки), оказания помощи застигнутым аварией людям, оценки газовой обстановки и состояния вентиляционных сооружений;

- проверки специалистами исправности электрооборудования на аварийном участке (кабели, пусковая аппаратура, электрические машины и др.).

При остановке вентилятора главного проветривания шахты продолжительностью более 30 мин главным инженером или лицом, его замещающим, производится обязательный вызов горноспасательных подразделений для осуществления следующих мероприятий:

- обследования загазированных выработок, из которых не вышли люди, оказания им помощи и вывода в выработки со свежей струёй воздуха или на поверхность;

- обеспечения дежурства в необходимых местах и разгазирования горных выработок в соответствии со специально разработанными мероприятиями.

## 2. ВОЗНИКНОВЕНИЕ И РАЗВИТИЕ АВАРИЙ И АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ НА ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

### 2.1. Аварийная опасность угольных шахт

#### 2.1.1. Основные виды аварий

Угольные шахты Украины представляют собой весьма сложную производственную систему с особо опасными условиями труда, обусловленные взрывоопасными и пожароопасными свойствами, внезапными выбросами породы, угля и газа, обрушениями, прорывами воды и т.п. Непредвиденные или внезапные изменения горно-геологических условий или природных сил, несоблюдение правил безопасности или неправильные действия работников могут повлечь за собой тяжелые последствия, а в некоторых случаях сопровождающиеся многочисленными человеческими жертвами.

При подземной добыче и переработке твердых полезных ископаемых возможны следующие основные виды аварий: взрывы газопылевоздушных смесей, пожары, выбросы горных пород и газов, горные удары, обрушения, оползни, затопление, загазирование, разрушение зданий, сооружений, оборудования, приборов, устройств и кабелей.

**Взрыв** – выделение за короткий отрезок времени большого количества энергии, вследствие внезапных, очень быстрых преобразований веществ, при которых внутренняя энергия молекул и атомов переходит в энергию движения вещества. Взрыв сопровождается сильным звуком, воспалением чего-нибудь вследствие мгновенного химического разложения вещества и образованием сильно нагретых газов. Взрыв в горной выработке сопровождается резким возрастанием в ней температуры и давления. Для угольных шахт типичными являются взрывы, обусловленные химической реакцией (взрыв смеси метана и воздуха, взрыв угольной пыли, взрыв метана и угольной пыли, взрыв взрывчатых веществ).

**Пожар** – неконтролируемое горение вне специального очага, наносящее материальный ущерб. Пожары являются самыми распространенными видами аварий. В зависимости от места возникновения различают рудничные пожары и пожары на объектах поверхности. Рудничными называются пожары в горных выработках. К ним отно-

сят и пожары на поверхностных комплексах, когда огонь и продукты горения могут попасть в шахту.

По происхождению пожары делят на экзогенные, возникшие от внешнего теплового источника (например, открытого огня, искрения, трения, взрывных работ) и эндогенные, возникшие в результате самонагрева и самовозгорания угля.

**Выбросы горных пород и газов** – быстро развивающееся разрушение угольного или породного массива, представленного песчаником, впереди забоя очистной или подготовительной выработки с отбросом разрушенной массы, выделением значительного количества метана и образованием в месте выброса характерной полости.

**Горные удары** – быстро протекающее разрушение целика или части массива угля (породы) с выбросом разрушенной массы, сопровождающееся резким звуком, сотрясением горного массива, образованием пыли и воздушной ударной волны, а в некоторых условиях и повышенным газовыделением. По силе проявления признаков, присущих горным ударам, различают собственно горные удары, микроудары, толчки и стреляния.

**Микроудары** сопровождаются звуком, сотрясением горного массива и образованием пыли без нанесения серьезного ущерба.

Толчок проявляется в виде сотрясения пород, разлома и выдавливания части массива без разрушения на куски.

**Стреляние** проявляется в виде отскакивания от массива кусков, чешуек породы или угля и сопровождается звуковым щелчком.

**Обрушения, оползни, затопление, загазирование** – явления, связанные с внезапным неконтролируемым заполнением горных выработок твердыми или насыщенными водой компонентами угольного или породного массива, водой, газами, происходящим вследствие разрушения целика или части массива угля (породы), прорыва пльвунов, подземных вод, вод открытых водоемов, суфляров, нарушения режима проветривания горных выработок и др.

**Разрушение зданий, сооружений, оборудования, приборов, устройств и кабелей** происходит вследствие их старения, износа, воздействия природных сил, нарушения паспортного режима работы.

## 2.1.2. Аварийность на угольных шахтах Украины

Сложные горно-геологические условия большинства угольных месторождений Украины обуславливают наличие большого количества опасных и вредных производственных факторов, которые существенно влияют на жизнь и здоровье работающих и обуславливают высокий уровень аварийности и травматизма в отрасли. Так, за период с 2006 по 2010 г.г. имели место 540 аварий и аварийных ситуаций, в ликвидации которых принимали участие подразделения ГВГСС. Из имевших место за этот период 262 (48,5%) подземных аварий, 84 (32%) подземные пожары (65 экзогенных и 19 эндогенных), 53 (20,2%) аварий на поверхности, 21 (8,0%) взрыв газа и угольной пыли, 14 (5,3%) внезапных выбросов угля и газа, 88 (33,5%) обрушений горных пород, 2 (0,7%) затопления горных выработок. Остальные 278 (51,4%) случаев связаны с работами по предупреждению и ликвидации последствий аварийных ситуаций и несчастных случаев.

Среднегодовые показатели оперативной деятельности ГВГСС за последние 5 лет (2006-2010 г.г.) приведены в табл. 2.1.

Анализ среднегодовых показателей за период с 2006 по 2010 годы свидетельствует о снижении числа аварий и аварийных ситуаций на 28,3%, подземных аварий на 25%; подземных пожаров на 36,8%, обрушений на 27,8% и аварийных ситуаций на 31,3%.

В 2010 году подразделениями ГВГСС ликвидировано 42 аварии (что на 16 аварий меньше чем в 2009 году), в том числе 12 подземных пожаров, (11 экзогенных пожаров, 1 – эндогенный, из них 9 пожаров ликвидировано активным способом, 3 – способом изоляции). Локализовано 5 взрывов метана и пылевоздушной смеси, 4 выброса угля и газа, 13 обрушений горных пород, 8 аварий на поверхности шахты.

За это время ликвидировано 44 аварийные ситуации, что на 10 аварийных ситуаций меньше чем 2009 году. В том числе 8 аварийных ситуаций связанных с остановками вентиляторов главного проветривания, 6 – с общим отключением электроэнергии, 6 – с несчастными случаями и падением людей в вертикальные и наклонные горные выработки, 2 – с недопущением самовозгорания угля, 1 - с застреванием клетки, 1 - с поражением электрическим током, 3 аварийные ситуации – других видов.

Таблица 2.1 – Среднегодовые показатели оперативной деятельности ГВГСС за 2006-2010 годы

№ п.п	Показатели	Годы					Всего за 2006-2010г.г.	Среднее 2006-2010г.г.
		2006	2007	2008	2009	2010		
1	Всего аварий и аварийных ситуаций	130	113	99	112	86	540	108
2	Всего аварий	51	48	63	58	42	262	52,4
	в том числе подземных пожаров: всего	16	18	19	19	12	84	16,8
	пожаров экзогенных	12	10	16	16	11	65	13
	пожаров эндогенных	4	8	3	3	1	19	3,8
	Взрывов газа и угольной пыли	2	2	5	7	5	21	4,2
	Внезапных выбросов	3	3	2	2	4	14	2,8
	Обрушений пород	18	13	25	19	13	88	17,6
	Затоплений	1	0	0	1	0	2	0,4
	Аварий на поверхности	11	12	12	10	8	53	10,6
3	Аварийных ситуаций	79	65	36	54	44	278	55,6
4	Число людей выведенных и эвакуированных при авариях и аварийных ситуациях подразделениями ГВГСС и членами ВГК, всего, чел.	7910	11847	8062	8320	6947	43086	8617,2
4.1.	в том числе: выведено из зоны поражения	3662	6108	2295	2524	2398	16987	3397,4
4.2.	эвакуированных без признаков жизни	75	256	155	154	128	768	153,6
5	Число пострадавших, которым оказывалась медицинская помощь работниками ГВГСС, всего, чел	2837	2681	2211	2011	2065	11805	2361
5.1.	в том числе: в подземных условиях	711	816	538	490	473	3028	605,6
5.2.	при авариях и аварийных ситуациях	401	410	141	210	101	1263	252,6
6	Длительность ликвидации аварий и аварийных ситуаций, час	1830	3468	10269	4520	2178	22265	4453
7	Общий ущерб от аварий и аварийных ситуаций, тыс. грн.	43864	40188	154977	55180	27221	321430	64286
	в том числе: затраты ГВГСС на ликвидацию аварий и аварийных ситуаций, тыс. грн	1441	3947	4848	4854	2713	17803	3560,6
8	Ущерб предприятий от аварий и аварийных ситуаций, тыс. грн	42423	36241	150129	50326	24508	303627	60725,4

Статистические данные всех видов аварий на угольных предприятиях приведены в табл.2.2.

Таблица 2.2 – Статистические данные видов аварий, ликвидированных ГВГСС на всех обслуживаемых предприятиях

№ п.п	Наименование	Всего с 2004 по 2009г.	среднее за 2004-2009г.	В том числе по годам						по ГВГСС	по МУП
				2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2010
1	Пожаров экзогенных	90	15	14	22	12	10	16	16	11	10
2	Пожаров эндогенных	27	5	7	2	4	8	3	3	1	1
3	Взрывов газа и угольной пыли	20	3	2	2	2	2	5	7	5	1
4	Внезапных выбросов	16	3	1	5	3	3	2	2	4	4
5	Обрушений пород	117	20	24	18	18	13	25	19	13	12
6	Затоплений	5	1	1	2	1	0	0	1	0	0
7	Аварий на поверхности	65	11	8	12	11	12	12	10	8	5
	Всего аварий	340	57	57	63	51	48	63	58	42	33
8	Аварийных ситуаций	409	68	86	89	79	65	36	54	44	26
	Всего аварий и аварийных ситуаций	749	125	143	152	130	113	99	112	86	59

На рис. 2.1 и 2.2 показано количество аварий и аварийных ситуаций, ликвидированных подразделениями ГВГСС в 2010 году.

Рис. 2.3 и 2.4 иллюстрируют количество аварий и аварийных ситуаций, ликвидированных подразделениями ГВГСС по МУП Украины за 2010 год.

На рис. 2.5 показана динамика аварийности на угольных шахтах Украины за 2001 – 2010 г.г.

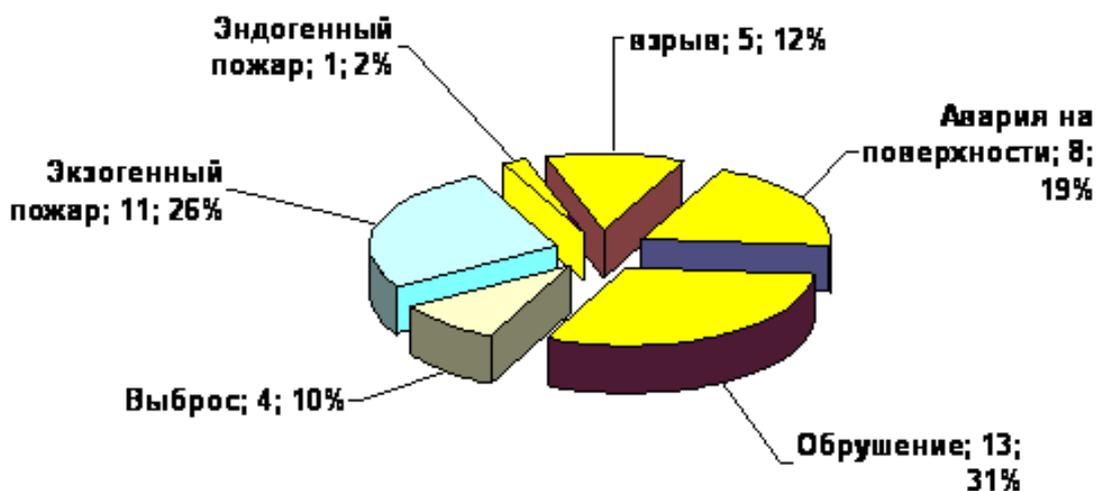


Рис. 2.1. Количество аварий ликвидированных подразделениями ГВГСС за 2010 год

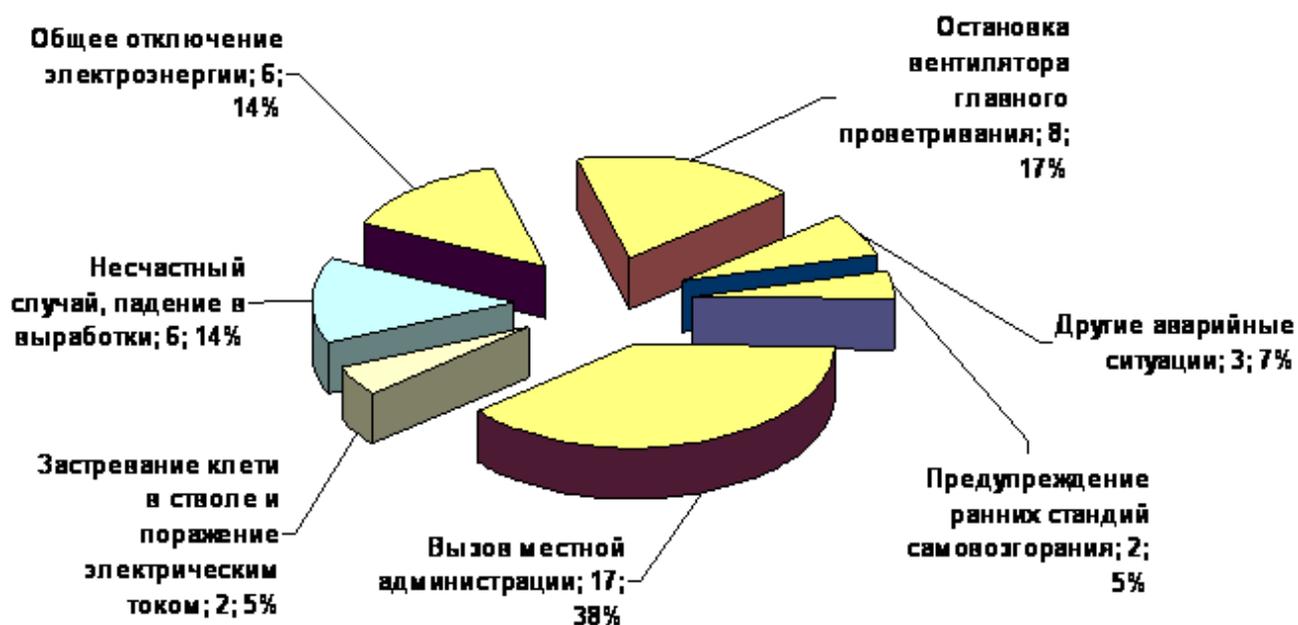


Рис. 2.2. Количество аварийных ситуаций ликвидированных подразделениями ГВГСС за 2010 год

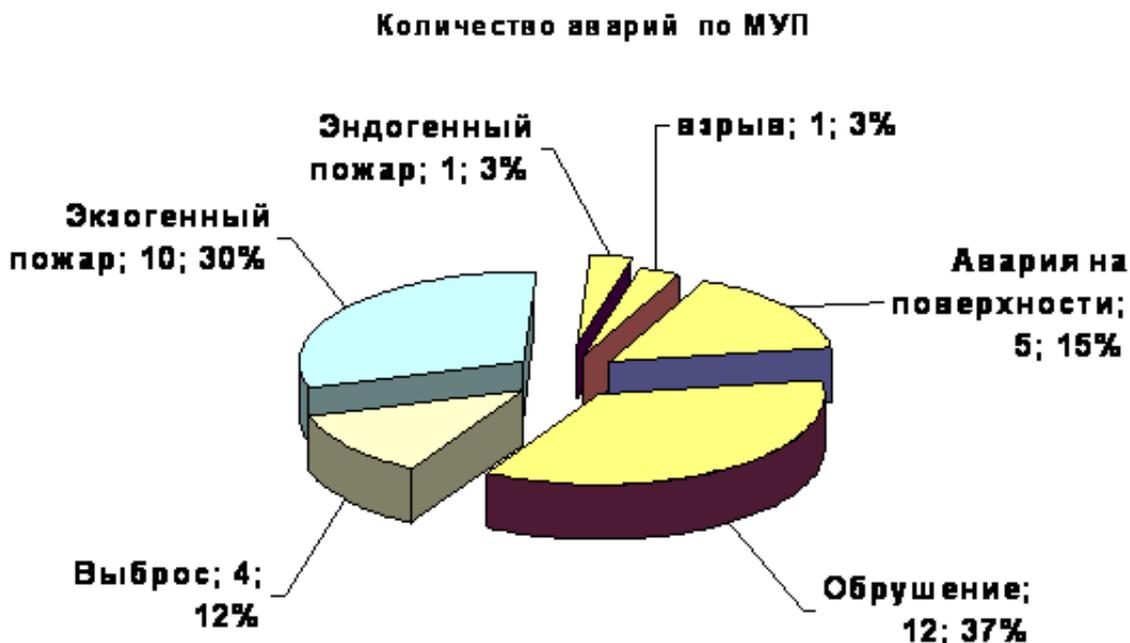


Рис. 2.3. Количество аварий ликвидированных подразделениями ГВГСС по МУП Украины за 2010 год

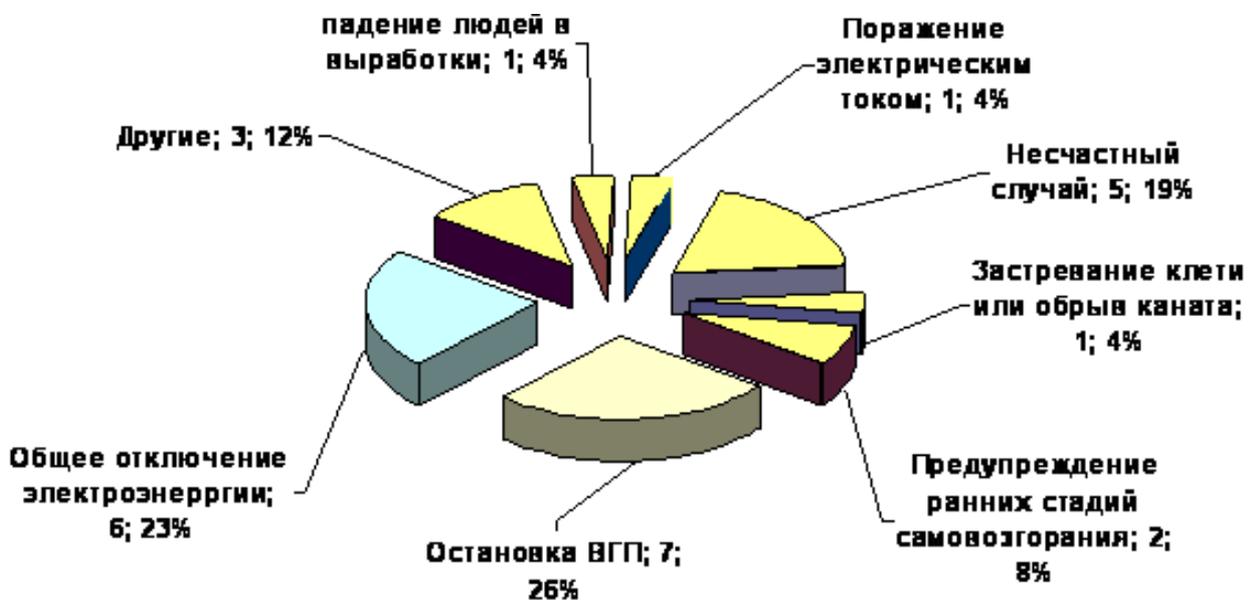


Рис. 2.4. Количество аварийных ситуаций ликвидированных подразделениями ГВГСС на предприятиях МУП Украины за 2010 год

Данные об аварийности на угольных шахтах МУП Украины приведены на рис.2.5.

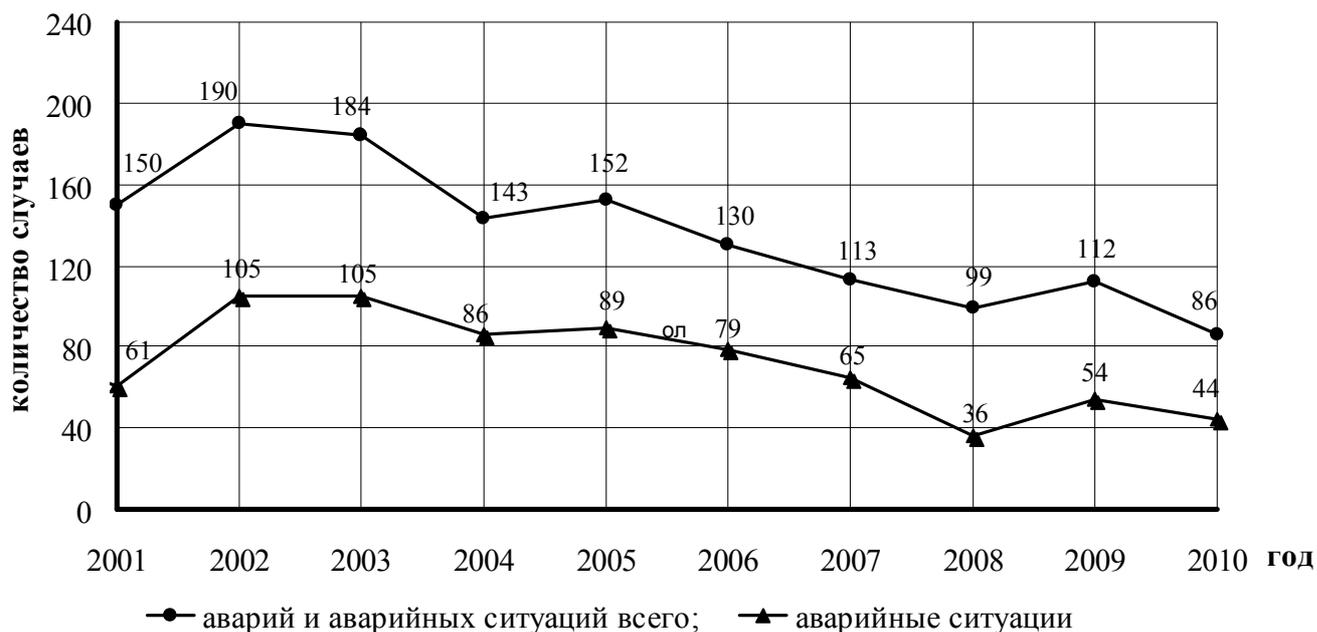


Рис.2.5. Динамика аварий и аварийных ситуаций на шахтах МУП Украины

Анализ данных, приведенных на рис. 2.5 показывает, что за последние 10 лет (2001 по 2010 годы) на шахтах МУП Украины произошло 1359 аварий и аварийных ситуаций всего. Из них 635 аварий и 724 аварийных ситуаций.

### 2.1.3. Травматизм на угольных шахтах Украины

Производственный травматизм неразрывно связан с аварийностью шахт.

Угольная промышленность Украины, как и прежде, характеризуется сложностью геологических условий и технологических процессов добычи угля особенно в глубоких шахтах. Несмотря на принимаемые меры по совершенствованию техники безопасности, угольные шахты остаются наиболее опасными в отношении производственного травматизма.

Динамика травматизма на шахтах МУП Украины за период с 2001 по 2010 год показана на рис.2.6

В 2010 году на угольных шахтах МУП Украины травмировано 4008 горнорабочих против 4023 за 2009 год (меньше на 15 случаев),

из них 88 со смертельным исходом, в том числе 46 горняков умерли от сердечно-сосудистых заболеваний или 35,9% от общего количества смертельных несчастных случаев, которые произошли на подземных работах.

В настоящее время в отрасли насчитывается 178 предприятий, входящих в сферу управления Министерства угольной промышленности Украины и 171 предприятие других министерств и ведомств. В 2010 году уровень травматизма со смертельным исходом на предприятиях МУП Украины составил 68,75% от всех погибших в отрасли (88 случаев из 128).

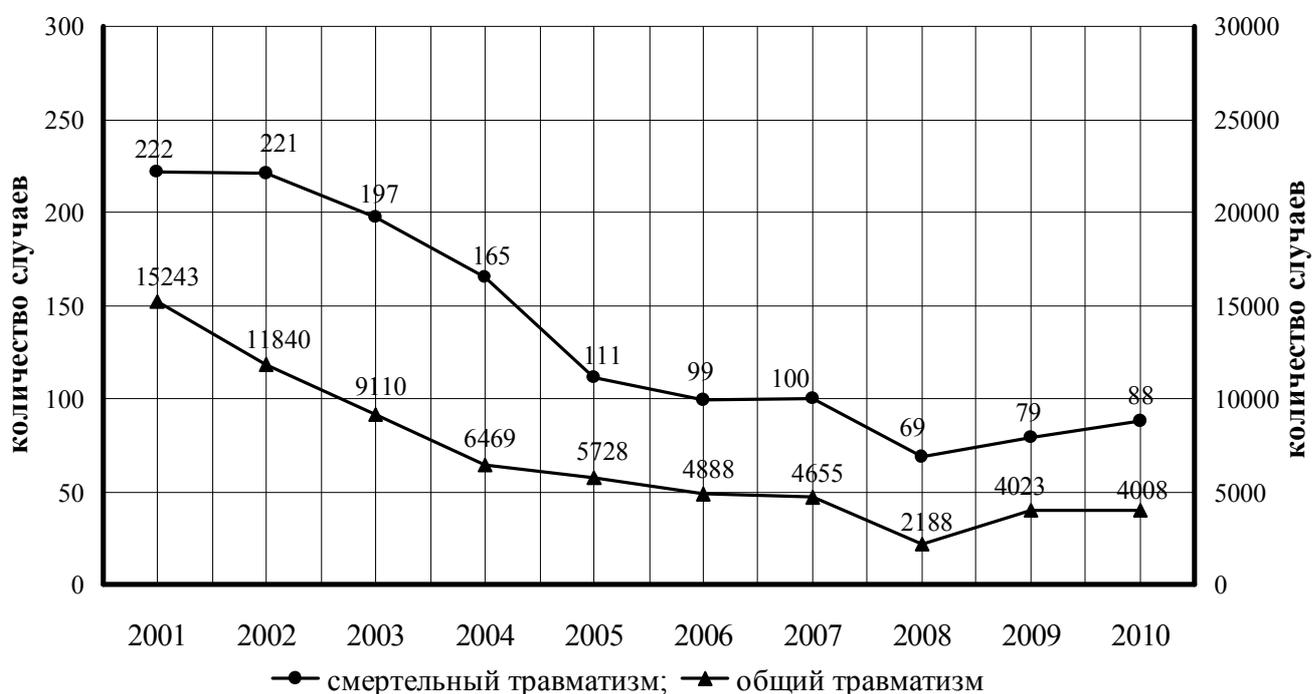


Рис. 2.6. Динамика производственного травматизма на шахтах Украины

В 2010 году отделениями ГВГСС и членами ВГК, при ликвидации аварий и аварийных ситуаций эвакуированы из зоны поражения 128 пострадавших без признаков жизни, что в 1,2 раза меньше чем в 2009 году. Врачами реанимационно-противошоковых групп (РПГ) ГВГСС в 2010 году оказана квалифицированная медицинская помощь 2065 шахтёрам. В том числе в подземных условиях получили помощь 472 человека, из них 278 человек были выведены из критического состояния. В 128 случаях медработники ГВГСС констатировали смертельный исход от тяжёлых травм и заболеваний, что на 25

случаев меньше чем в 2009 году. Число таких ситуаций при заболеваниях больше на 88 случаев в сравнении с 2009 годом.

Сравнение статистических данных о производственном травматизме на предприятиях отрасли и числа выездов РПГ показывает, что в последние годы установилась тенденция к снижению числа вызовов предприятиями врачей РПГ для оказания помощи пострадавшим. По итогам 2010 года на предприятиях МУП Украины в среднем за сутки врачи РПГ привлекаются для оказания помощи шести работникам, что составляет 45,5 % от среднего числа травмированных рабочих в сутки по данным Министерства угольной промышленности Украины.

Обобщая причины возникновения аварий и аварийных ситуаций, допущенных в 2009-2010 г.г., можно выделить три основные:

1. Природные аномалии и стихийные бедствия;
2. Нарушение работы электрооборудования, в том числе, стационарного оборудования;
3. Нарушения при выполнении работ исполнителем или, так называемый, «человеческий фактор».

Динамика травматизма на обслуживаемых предприятиях по данным выездов РПГ подразделений ГВГСС приведена в табл. 2.3.

Таблица 2.3 – Динамика травматизма на обслуживаемых предприятиях по данным выездов РПГ ГВГСС

№ п.п.	Показатель	По ГВГСС			По МУП		
		Всего за 2006–2009г.г.	Среднее за 2006–2009г.г.	2010г	Всего за 2006–2009г.г.	Среднее за 2006–2009г.г.	2010г
1.	Количество пострадавших по данным предприятий	28076	5615	4865	17440	4360	4008
2.	Общее число потерпевших, которым оказана помощь врачами РПГ, чел	12251	2450	2065	6975	1744	1527
2.1.	Из них: травмированных, чел	8005	1601	1447	4563	1141	1121
2.2.	тяжело травмированных, чел	4588	918	895	2469	617	636
2.3.	Выведено из критического состояния, чел	1382	276	278	804	201	184
	доля тяжело травмированных от общего числа потерпевших, %	37,45	37,45	43,34	35,4	35,4	41,6
	доля от общего числа тяжело-травмированных, %	30,1	30,1	19,21	32,6	32,6	15,8
3.	Количество больных	4246	849	588	17440	4360	406

Причинами осложнений аварий на угольных шахтах Украины до настоящего времени остаются: несвоевременное обнаружение аварийных ситуаций и поздние вызовы подразделений ГВГСС, неправильные действия ответственных руководителей работ по ликвидации аварий в начальный период ликвидации аварий, наличие опасности взрывов метановоздушной смеси, отсутствие возможности непосредственного воздействия на очаги пожаров и др.

#### **2.1.4. Ущерб от допущенных аварий и аварийных ситуаций на шахтах.**

Согласно статистическим данным за 6 лет (2004-2009г.г.) средний ущерб одной допущенной аварии или аварийной ситуации составляет около 1,3 млн. грн. Средняя длительность одной допущенной аварии или аварийной ситуации составляет около 25,3 часа, средний ущерб одной допущенной аварии или аварийной ситуации в 2010 году составляет около 317 тыс. грн.

Общий ущерб от допущенных аварий и аварийных ситуаций на всех угольных предприятиях приведен в табл. 2.4.

Из 86 аварий и аварийных ситуаций, имевших место в 2010 году на обслуживаемых предприятиях, средняя сумма общего ущерба составила 316,5 тыс. грн (в 2009г. – 492,7 тыс. грн.).

Таблица 2.4 – Ущерб от аварий и аварийных ситуаций на шахтах  
(тыс. грн)

Наименование показателя	Всего за 2004-2009г.	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	
								ГВГСС	МУП
Общий ущерб от допущенных аварий и аварийных ситуаций, тыс. грн	873638	13778	27769	43864	462353	70694	55180	27221	22169

При этом в 61 (71%) случае общий ущерб не превышал 100 тыс. грн., а в 25 случаях (29%) общий ущерб был более 100 тыс. грн. и распределился в порядке, указанном в табл. 2.5.

Таблица 2.5 – Статистика распределения ущербов превышающих 100 тыс. грн.

Интервал ущерба, тыс. грн.	Количество аварий и аварийных ситуаций в 2009 году	Количество аварий и аварийных ситуаций в 2010 году	Доля ущерба в выделенной группе в 2010 году, %	Количество относительно 2009 года («+», «-»)
больше 100	30	25	100	-5
100-200	5	4	16	-1
200-300	7	7	28	0
300-400	3	2	8	-1
400-500	2	1	4	-1
500-600	0	4	16	+4
600-700	0	0	0	0
700-800	2	1	4	-1
800-900	0	0	0	0
больше 1000	11	6	24	-5

Экономический ущерб предприятий от аварий и аварийных ситуаций составил 27,2 млн. грн., (в 2009 году – 55,18 млн. грн.).

Ущерб по видам аварий на предприятиях МУП Украины показан на рис. 2.7, а на всех обслуживаемых предприятиях – на рис. 2.8.

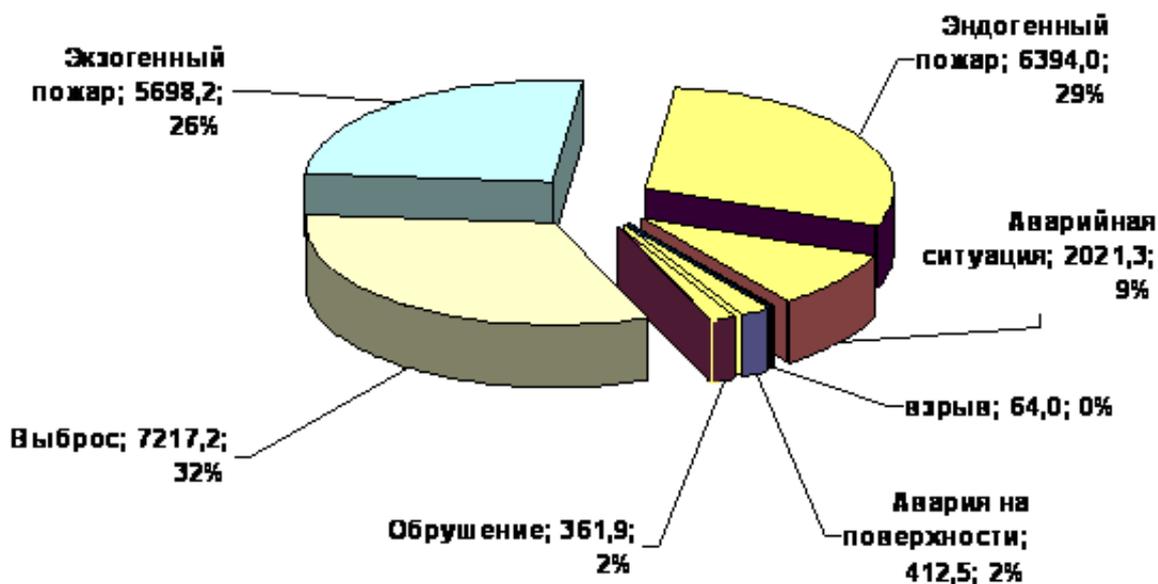


Рис. 2.7. Ущерб по видам аварий на предприятиях МУП Украины

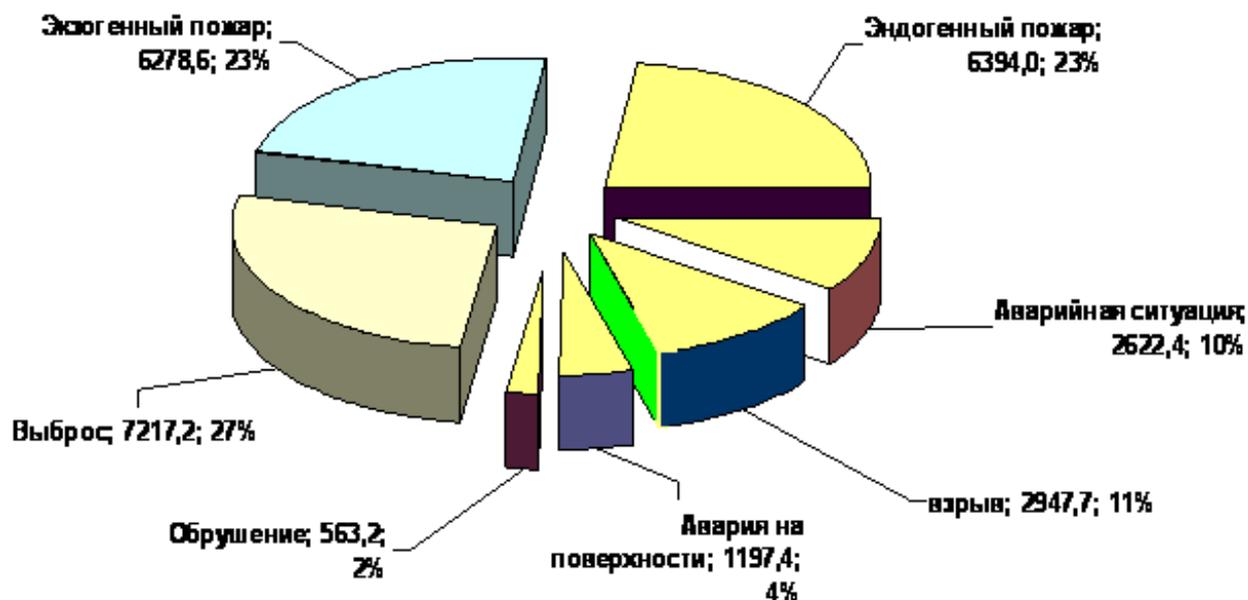


Рис. 2.8. Ущерб по видам аварий на всех предприятиях, обслуживаемых подразделениями ГВГСС

## 2.2. Взрывы газа и пылевоздушных смесей

Теоретические основы горения и взрыва газо-пылевоздушных смесей, заложенные классическими трудами Н.Н. Семенова, Я.Б. Зельдовича, получили дальнейшее развитие в исследованиях А.И. Розловского, Г.Д. Саламандры, Р.И. Солоухина, А.С. Соколика. Значительный вклад в исследования взрывов газо-пылевоздушных смесей в горных выработках шахт, разработку способов и средств борьбы с ними внесли А.Г. Абинов, В.Я. Балтайтис, Ю.Ф. Булгаков, Ф.М. Гельфанд, В.И. Голинько, А.А. Гурин, В.Н. Качан, М.И. Нецепляев, С.Н. Осипов, П.М. Петрухин, В.С. Сергеев, Н.Р. Шевцов, И.Ф. Ярембаш и многие другие отечественные и зарубежные ученые.

Воспламенения газо-пылевоздушных смесей в атмосфере горных выработок обусловлены протеканием экзотермических реакций окисления метана и угольной пыли с кислородом воздуха.

За последние пять лет (2006 - 2010 годы) возник 21 взрыв газа и угольной пыли, что составило 8% от всех видов аварий, произошедших на угольных шахтах МУП Украины.

Взрывоопасная ситуация в шахте может возникнуть при следующих обстоятельствах: при скоплении такого количества горючего

вещества, которое, в смеси с воздухом, образует взрывчатую концентрацию, и при наличии источника высокой температуры, способного воспламенить горючее вещество.

В шахтных условиях причинами появления высокой температуры могут служить неисправности в электрооборудовании или его эксплуатация в условиях, не отвечающих виду изготовления, ведение взрывных работ, искры, возникающие от трения режущего инструмента, появление открытого огня (курение, сварка, пожар и пр.).

### **2.2.1. Типы воспламенения газо-пылевоздушных смесей.**

Взрывом называют воспламенение, сопровождающееся ударной волной. Быстрый рост давления во фронте пламени, передаваемого от слоя к слою, рождает ударную волну, распространяющуюся перед фронтом пламени со скоростью звука (330 м/с).

Типы воспламенения разделяют по давлению в ударной волне, скорости распространения пламени и температуре во фронте пламени. Эти показатели зависят от большого числа условий, главными из которых являются, концентрация горючего газа в газо-воздушной смеси, начальные давление и температура смеси, гидравлическое сопротивление продвижению фронта пламени и условия теплоотдачи из очага.

Различают следующие типы воспламенения:

- тихое воспламенение – давление в ударной волне незначительное, скорость движения фронта пламени 0,3 – 0,6 м/с;
- вспышка сопровождается давлением в ударной волне 0,015 МПа, скорость пламени 2 – 10 м/с;
- тепловой взрыв (взрывное горение) сопровождается давлением от 0,015 - 1 МПа и скоростью пламени от 10 до 330 м/с;
- детонация (давление от 2 до 5 МПа, а скорость пламени от 500 до 8000 м/с).

Переход вспышки во взрыв происходит при скорости химического превращения менее 1 м/с, для чего необходим или приток смеси в очаг, или перемещение самого очага (фронта пламени) со скоростью звука и выше. Это требует низкого гидравлического сопротивления, особенно отсутствия поворотов, сужений, расширений горной выработки, преград (дверей, перемычек, транспортных сосудов и т. д.), а также сохранения высокой температуры во фронте пламени для ме-

тановоздушной смеси, например, не ниже 1300 °С, что возможно при малой теплоотдаче из фронта горения.

Особое место занимает детонация - взрывной процесс, скорость распространения которого в 3-20 раз больше скорости звука в данной среде при обычных термодинамических условиях, а давление при этом достигает 2-5 МПа даже для газо-пылевоздушных смесей.

Обычное воспламенение переходит в обычный взрыв (взрывное горение) постепенно; скорость и давление нарастают плавно.

Взрывное горение переходит в детонацию скачкообразно (рис.2.9), толчками, которые вызывают разгон фронта пламени до сверхзвуковой скорости. Каждый толчок вызывается ростом давления перед фронтом пламени и соответствующим повышением температуры, что, в свою очередь, вызывает рост скорости фронта воспламенения в газовой смеси.

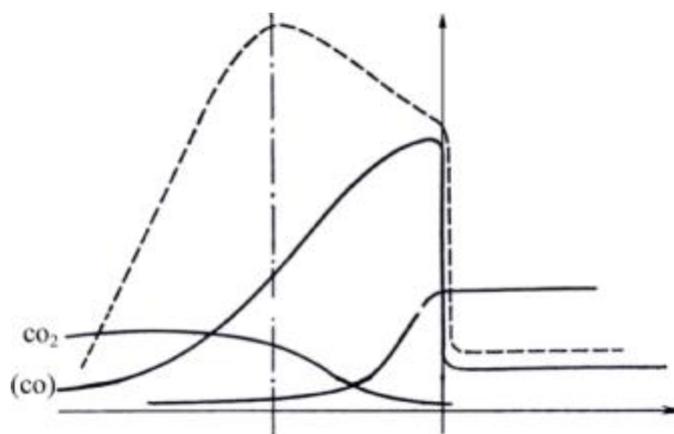


Рис. 2.9. Схема перехода взрывного горения в детонацию: I – исходные условия; II – зона химических превращений; III – конечные условия;  $O_2$ ,  $T_0$  и  $P_0$  – исходные соответственно концентрация кислорода, температура и давление в горной выработке;  $CO_2$  (CO) – конечная суммарная концентрация двуокиси и окиси углерода

Скорость распространения фронта детонации после его разгона остается для данных условий постоянной и зависит, главным образом, от состава горючей смеси и, в меньшей степени, от исходных давлений ( $P_0$ ), температуры ( $T_0$ ), ширины канала и действующего активного сопротивления среды. В узких каналах (щелях) детонация может выродиться в взрывное и даже обычное горение.

Исходя из того, что скорость детонационной волны больше скорости звука, следует, что ее движение вызывается не передачей тепла

и диффузией, как при обычном пламени, так как скорость этих процессов не превышает скорости звука, обусловленной тепловой скоростью молекул. Давление в детонационной волне более 2 МПа, что достаточно для воспламенения газо-воздушной смеси при адиабатическом сжатии. Следовательно, детонация непосредственно связана со свойствами ударной волны. Инициирование взрывного процесса существенно зависит от интенсивности зажигания.

### 2.2.2. Особенности взрыва газо-воздушных смесей.

Смесь метана с воздухом при температуре 600 °С воспламеняется через 10 с, при 1000 °С - через доли секунды, а при 1300 °С взрывается. Детонацию легко вызывают СИ взрывчатых материалов - детонаторы. Характер процесса зависит от давления во фронте горения. Широко известен опыт с зажиганием метановоздушной смеси у открытого и закрытого концов трубы. В первом случае вследствие свободного расширения газов из фронта горения возникает тихое пламя, а во втором – вследствие роста давления из-за активного инерционного и гидравлического сопротивления среды происходит взрыв (взрывное горение).

Газо-воздушные смеси, способные взрываться, получили название гремучего газа.

При росте объемной доли горючего в гремучем газе взрываемость вначале нарастает, а затем, по мере достижения стехиометрического соотношения горючего газа и кислорода, снижается. Метановоздушная смесь наиболее легко воспламеняется при объемной доле метана 0,06 (6%), а взрыв наибольшей силы происходит при объемной доле метана 9,5 % (табл. 2.6).

Расчетное количество углерода, которое можно окислить (сжечь) в 1 м<sup>3</sup> воздуха, составляет около 111,5 г.

Пределы взрыва смесей метана с воздухом показаны на рис. 2.10.

В области взрывчатых смесей важным является постепенное сужение нижнего и верхнего пределов взрываемости смеси метана с воздухом вплоть до выхода в точку при объемной доле кислорода ≈ 12,2 %. Это связано с цепным механизмом передачи теплового импульса зажигания.

Таблица 2.6 – Длительность индукционного периода в зависимости от объемной доли метана

Объемная доля метана, %	Длительность индукционного периода, с, при температуре, °С			
	775	875	975	1075
6	1,08	0,35	0,12	0,039
8	1,25	0,37	0,14	0,042
10	1,4	0,41	0,15	0,049
12	1,64	0,44	0,16	0,055

В области 3 для осуществления цепной реакции окисления недостаточно молекул метана, в области 4 - молекул кислорода. Метан в области 3 выгорает при наличии источника тепла, например пламени, однако цепная реакция взрыва невозможна. Добавление кислорода воздуха в смесь области 4 вводит ее в «треугольник взрываемости».

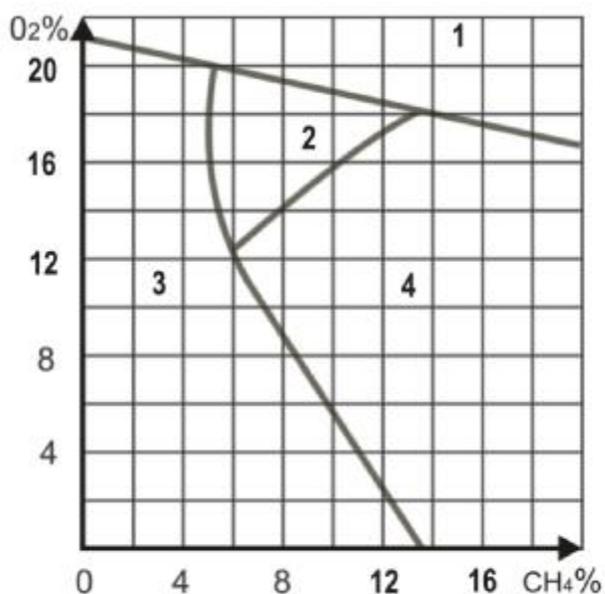


Рис. 2.10. Объемные пределы взрываемости метановоздушных смесей: 1 – неосуществимая смесь; 2 – взрывчатая смесь; 3 – невзрывчатая смесь; 4 – смесь, могущая стать взрывчатой при добавлении воздуха (кислорода).

Пределы взрываемости смесей горючих газов с воздухом при нормальных термодинамических условиях составляют: метана 5,3 (4,8) - 14 %; этана 3,2-12,5 %; ацетилена 3-65 %; окиси углерода 12,5-75 % и водорода 4,1-74 %.

«Треугольник взрываемости» для других горючих газов имеет тот же вид, что и для метана. Нижний предел взрываемости зависит от рода воспламенителя и его температуры.

Так, в металлических трубах удавалось воспламенить раскаленной пылью смесь 4,8 % метана с воздухом.

Нижний предел взрываемости смеси горючих газов (%) определяется по формуле

$$x = \frac{100}{\frac{n_1}{N_1} + \frac{n_2}{N_2} + \dots + \frac{n_i}{N_i}}, \quad (2.1)$$

где  $n_1, n_2, \dots, n_i$  - объемная доля каждого из горючих компонентов;  $N_1, N_2, \dots, N_i$  - нижние пределы взрываемости компонентов.

Для гомологов метана оптимальная концентрация воспламенения в воздухе обратно пропорциональна корню квадратному из их относительной молекулярной массы:

$$\frac{C'_M}{C''_M} = \sqrt{\frac{M'}{M''}}, \quad (2.2)$$

где  $C'_m$  и  $C''_m$  - оптимальные массовые концентрации метанидов, %;  $M'$  и  $M''$  - относительные молекулярные массы. Для метана  $C_m = 8,5$  %.

Формула (2.2) применима и к смесям метанидов. В этом случае  $M$  означают средние относительные молекулярные массы смеси.

### 2.2.3. Особенности взрыва пылевоздушных смесей

Степень взрывчатости пыли зависит от развития ее поверхности, выражаемой обычно через размеры (диаметр) пылинок, состава пыли - химического и минерального, выхода летучих продуктов при нагреве (для угольной пыли), количества витающей пыли, наличия в атмосфере горючих газов и влажности пыли и атмосферы.

В шахтах происходят чисто пылевые взрывы сульфидной, серной, угольной и другой пыли. О степени взрывчатости пыли в опытах судят по давлению в месте взрыва, длине пламени и температуре.

Пыль угольных пластов наиболее взрывчата при диаметре пылинок 0,1-0,04 мм, для некоторых марок углей - при диаметре 0,01 0,05

мм, хотя во взрыве участвует и более тонкая пыль, а также пыль, состоящая из частиц размером 0,75-1 мм.

Максимум взрывчатости (давления взрыва) для различных марок углей различен (рис. 2.11). Угольная пыль не взрывается при содержании в ней 60-70 % золы или инертных частиц.

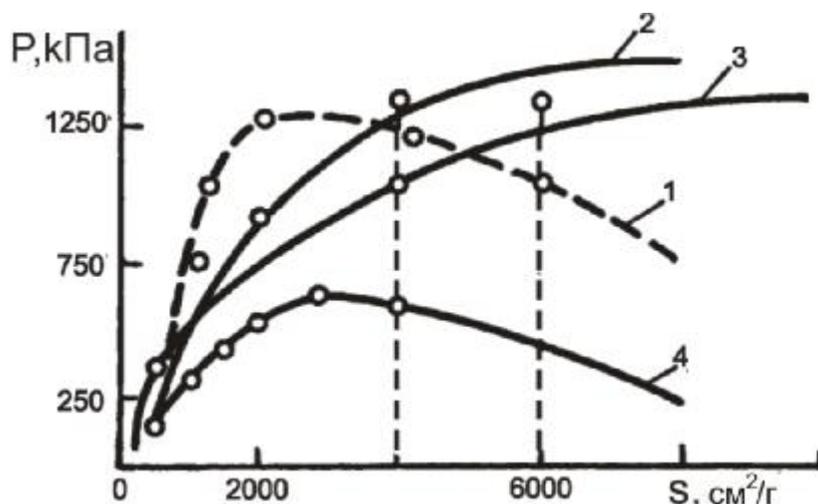


Рис. 2.11. График зависимости давления взрыва угольной пыли  $P$  от удельной поверхности (уменьшения диаметра) частиц  $S$ : 1 – бурый уголь; 2 – газовый; 3 – длиннопламенный; 4 – коксовый

Степень взрывчатости угольной пыли связана с выходом летучих веществ. Угольная пыль становится взрывчатой, если выход летучих веществ из угля составляет 10 % и более (рис. 2.12). Так, угольная пыль, содержащая 16 % летучих, взрывается при 125 г пыли в 1 м<sup>3</sup> воздуха, а содержащая 25 % летучих - при 100 г.

Пылегазовые смеси взрываются легче газоздушных. Это обусловлено тем, что угольная пыль возгорается при температуре 300-365°C, буроугольная - при 200-230°C. Метан самовоспламеняется. Метановоздушная смесь самовоспламеняется при температуре около 500°C, а при внешнем тепловом импульсе воспламенение происходит при 600-700°C. Теплопередача во фронте горения пылегазовоздушной смеси от слоя к слою ускоряется излучением, которое незначительно для чисто газовых смесей. Нижний предел взрывчатости для пылегазовоздушных смесей значительно снижается.

Метан %	0,5	1	2	3
Пыль г/м <sup>3</sup>	30	20	10	5

Наиболее взрывчата сухая угольная пыль (влажность угля 2-3 %). Буроугольная пыль наиболее взрывчата при влажности 9-15 %, что соответствует высушенному бурому углю.

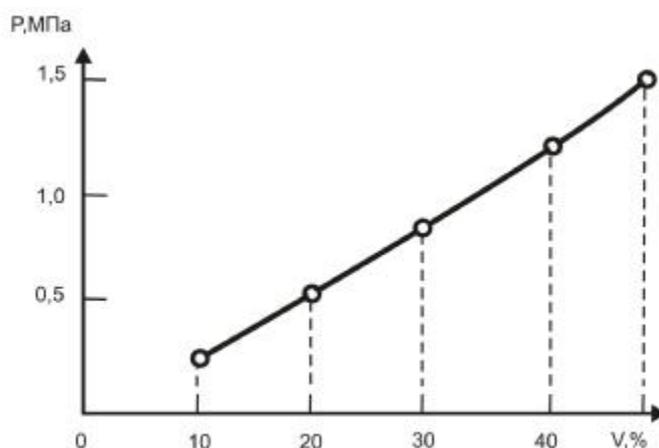


Рис. 2.12. График зависимости давления взрыва угольной пыли  $P$  от выхода летучих  $V$

Буроугольная пылевоздушная смесь весьма инертна, но при резком нагревании за счет излучения взрывается и даже детонирует.

При взрыве сгорание частиц угля происходит на 20-40 %, а скорость выгорания пропорциональна квадрату их диаметра. С уменьшением концентрации кислорода скорость пламени уменьшается. Нижний предел концентрации кислорода для пылеугольной - метановоздушной смеси составляет около 16 %.

Взрывчатость серной и сульфидной (колчеданной) пыли зависит от крупности частиц. Наиболее взрывоопасна сульфидная пыль крупностью около 0,1 мм (рис.2.13, а). Ее взрывчатость во многом определяется содержанием серы (рис. 2.13, б). Нижний взрывоопасный уровень содержания серы в руде принят равным 12 %. Для сульфидной пыли нижний взрывоопасный уровень содержания серы (в пересчете) в руде составляет 35%. Взрывчатость серосодержащей пыли существенно зависит от влажности. При 10 % влажности (рис. 2.13, в) такая пыль не передает взрывной импульс.

Серная пыль при наличии теплового импульса, например взрыва, выгорает при любой концентрации. Передача взрывного импульса в сульфидной пылевоздушной смеси происходит при массовой концентрации ее 0,25-1,5 г/м<sup>3</sup> и выше.

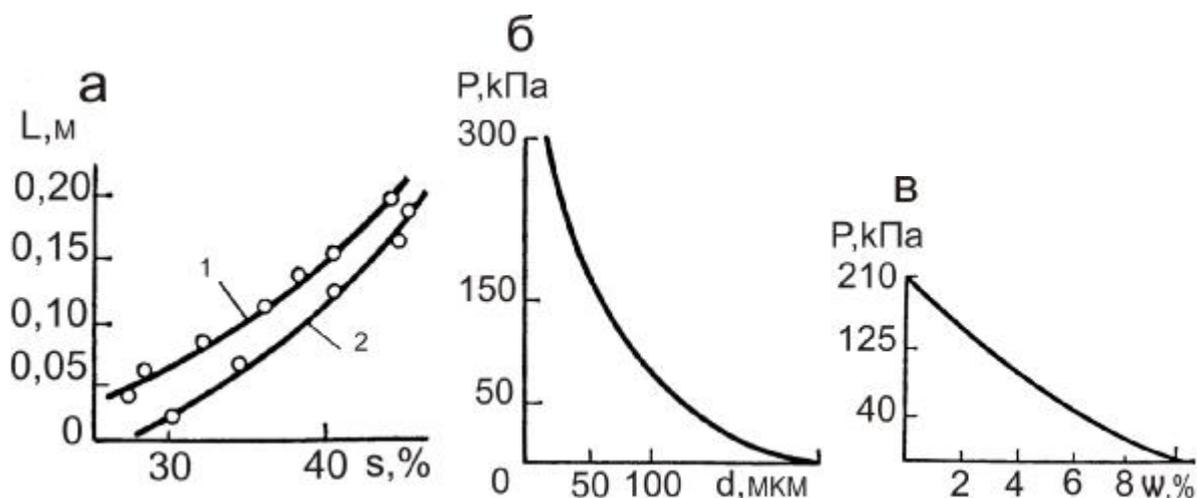


Рис. 2.13. Характеристики взрывчатой серной и сульфидной пыли в зависимости от содержания серы в руде  $S$  (а), диаметра частиц пыли  $d$  (б), влажности пыли  $w$  (в): 1 – пламя против движения пылевого облака; 2 – пламя по направлению движения пылевого облака;  $l$  – длина пламени;  $P$  – давление в месте взрыва.

К особенностям взрыва пылевоздушных смесей относится также тот факт, что сверхзвуковая детонационная волна захватывает в процессе взрыва лишь витающую пыль, т.к. осевшая пыль не успевает подняться и не участвует в детонационном взрыве. Однако при потоке воздуха и пополнении атмосферы кислородом поднятая волной детонации пыль может участвовать во вторичном, как правило, тепловом взрыве.

Взрывчатые свойства газов и пыли имеют много общего (близкая по величине температура воспламенения, нижний и верхний пределы взрываемости и др.). Однако имеются и существенные различия. Поэтому, несмотря на общие методические основы разработки газового и пылевого режимов, способы и средства борьбы с пылью и газами различны.

#### 2.2.4. Природно-технологические условия и особенности возникновения взрыва на горных предприятиях

Разрушение массива горных пород с целью добычи полезного ископаемого сопровождается выделением в горные выработки газов и образованием пыли.

Пылеобразование зависит от технологических факторов и природных свойств разрабатываемых пластов, залежей и рудных тел.

Так, на угольных шахтах удельное пылевыведение колеблется от 50 до 1000 г/т добытого угля, а чаще всего составляет 100-200 г/т.

Решающую роль в образовании пылевого облака играет скорость движения воздуха в очистных и подготовительных забоях, а также у мест погрузки и перегрузки угля. Чем выше скорость, тем больше несущая способность потока, тем больше пыли переходит во взвешенное состояние. Многочисленные исследования показали, что в подавляющем большинстве случаев для разных по минералогическому составу пыли запыленность воздуха начинает возрастать при скорости его движения 1,8 м/с и более.

В главных воздухоподающих выработках шахт воздух движется, как правило, со скоростью близкой к максимальной (8 м/с), в 3-4 раза превышающей скорость, при которой начинается срыв пыли, осевшей в горных выработках или находящейся в транспортных сосудах.

Наибольшую опасность представляют горючие газы, метан и его гомологи, а также водород, которые в смеси с воздухом при определенных условиях могут взрываться. Взрывчатыми свойствами обладают и другие газы (окись углерода, сероводород и пр.), однако выделения их в горные выработки, как правило, не достигают взрывоопасной концентрации и опасность этих газов заключается в их ядовитых свойствах. Выделение метана происходит не только на угольных шахтах, но и при разработке железорудных, апатитовых, калийных, алмазных, золотоносных и других месторождений.

Взрывчатыми свойствами обладают пыли угольных, сланцевых, серных, медных, серноколчеданных и других месторождений.

К опасным по пыли относятся пласты угля (горючих сланцев) с выходом летучих веществ 15 % и более, а также пласты угля с выходом летучих меньше указанной величины, если их взрывчатость установлена лабораторными испытаниями.

Серные шахты по степени опасности взрывов пыли подразделяются на две группы по среднему содержанию серы в руде: I группа - от 12 до 18 %, II группа - более 18 %.

Безопасность работ на газовых шахтах существенным образом зависит от концентрации горючих газов в рудничной атмосфере, которые строго нормируются Правилами безопасности.

Большую опасность представляют скопления метана в отдельных местах горных выработок (местные) с концентрациями, превышающими среднюю по сечению выработок. Опасными считаются мест-

ные скопления метана с концентрацией 2 % и более. Разновидностью местных скоплений метана являются – слоевые скопления. Под ними понимают скопление метана у кровли выработки с концентрацией метана, превышающей среднюю по сечению выработки на участке длиной более 2 м.

Наиболее опасными местами, где может скапливаться метан, являются тупиковые выработки, так как проветривание их осуществляется чаще всего с помощью дополнительных побудителей тяги, работа которых менее надежна, чем вентиляторов главного проветривания.

Присутствие высших углеводородов в рудничной атмосфере создает повышенную опасность, так как эти газы образуют взрывчатые смеси с воздухом при более низких концентрациях, чем метан, и, кроме того, являются высокотоксичными веществами.

Пределы взрываемости в смеси с воздухом составляют, например, для этана 3,12-15 %, для пропана 2,17-7,35 % и для бутана 1,55-8,5 %.

Высшие углеводороды наряду с метаном входят в состав газов угленосных отложений. Выделение парообразных углеводородов наблюдается при проведении выработок по нефтесодержащим породам.

Наибольшую опасность взрывы пылегазовых смесей представляют для угольных шахт.

Причинами образования взрывоопасной метановоздушной среды в угольных шахтах являются: прекращение вентиляции по организационным и техническим причинам – 28,6 % случаев; неудовлетворительное состояние вентиляционных трубопроводов – 14,3 %; перевал выработок – 14,3 %; неправильный расчет количества воздуха – 14,3 %; скопление метана в выработанном пространстве – 11,4%; скопление метана в куполах, слоевые скопления – 8,6 %; выбросы метана – 2,8 %; неисправность вентиляционных сооружений – 2,8 %; неправильное разгазирование атмосферы выработок – 2,8 %.

Существенное влияние на образование взрывоопасной среды оказывает проведение эффективной дегазации (около 40 % случаев могут быть исключены).

Распределение взрывов метанопылевоздушных смесей по местам происшествий следующее: в очистных забоях – 20 % случаев; в подготовительных – 51,4 %; в прочих действующих выработках – 14,2

%; в выработанных пространствах – 11,4 % и в подземных скважинах – 2,8 %.

Причинами образования взрывоопасной метановоздушной среды являются высокая природная газоносность и, следовательно, высокое пластовое давление, что при поверхности обнажения угленосной толщи во всей сети горных выработок, измеряемой десятками квадратных километров, предопределяет значительное газовыделение, несмотря на низкую газопроницаемость угольных пластов и вмещающих пород. Газовыделение составляет в среднем 10-30 м<sup>3</sup>, достигая 40-50 м<sup>3</sup> на 1 т добычи, а пиковое газовыделение, фиксируемое при определении категорийности шахт, составляет соответственно 30-60 и 120-140 м<sup>3</sup> на 1 т добычи.

На эту первичную природно-технологическую причину налагаются организационно-технические: не проведение дегазации или применение неэффективных способов дегазации; прекращение проветривания; плохой контроль состояния рудничной атмосферы (80 % взрывов в подготовительных забоях); перевал выработок; неисправность вентиляционных сооружений (около 60 % в очистных забоях).

Причинами образования взрывоопасной пылевоздушной среды является высокая твердость и хрупкость горных пород, приводящие к интенсивному пылеобразованию при отделении горных пород от массива и их транспортировании.

В угольных шахтах увеличение пылеобразования связано дополнительно с тем, что:

- все применяемые системы разработки предполагают обнажение угольного пласта на всей площади отработки;
- угольная пыль обладает высокой витаемостью и низкой смачиваемостью;
- интенсивное проветривание вызывает захват большого количества пыли турбулентным воздушным потоком;
- рост энерговооруженности с механическим отделением и дроблением горных пород (угля) непосредственно в активно проветриваемом рабочем пространстве горных выработок приводит к непрерывной интенсивной запыленности атмосферы горных выработок на всем их протяжении.

Как и в случае образования метановоздушной взрывоопасной среды, на изложенные выше первичные природные и технические причины образования пылевоздушной взрывоопасной среды накла-

дываются вторичные организационно-субъективные причины. Так, например, в последнее время большинство взрывов пыли в угольных шахтах связано с невыполнением предусмотренных проектами противопылевых мероприятий.

Источником теплового импульса воспламенения серной и сульфидной пылевоздушной смеси являются взрывные работы. В угольных шахтах воспламенение метано- и пылевоздушной смеси происходит в основном от теплового импульса, создаваемого взрывными работами, электрическим током и фрикционным искрением.

Источники теплового импульса воспламенения метано- и пылевоздушной смеси в угольных шахтах следующие: взрывные работы (31 %), электроэнергия (29 %), фрикционное искрение (20 %), курение (6%), самовозгорание (6 %), пожар, пневмоэнергия и огневые работы (8 %).

Искры образуются при пневмотранспорте по стальным трубам. Известны случаи воспламенения пыли по этой причине. При электризации угольной пыли частицы ее заряжаются отрицательно, и возникает электрический заряд. Вероятность воспламенения горючей смеси электрической искрой пропорциональна мощности тока. Главную роль при этом играет тепловое воздействие. Наблюдения спектров показали, что в воспламенении принимают участие свободные радикалы - продукт термического разложения угля. Ионизация, возникающая при электрическом разряде, не вызывает воспламенения.

Взрывы серной и сульфидной пыли происходят только от теплового и механического импульсов, создаваемых взрыванием зарядов ВВ при некачественной забойке и отсутствии водяных завес. Сухая горючесланцевая пыль (влажность менее 15 %) взрывается также в основном по вышеуказанным причинам. При этом вначале взрывается пыль, находящаяся непосредственно в сфере действия заряда ВВ, а затем взрыв распространяется на расстояние до 35-40 м.

Исследованиями ряда ученых доказано, что в метано-воздушной среде может развиваться детонация при условии ее беспрепятственного разгона, например, в трубах. В горных выработках это условие не соблюдается, и обычно происходит или вспышка, или тепловой взрыв (взрывное горение).

При горении стехиометрической метановоздушной смеси (9,5%  $\text{CH}_4$ ) пламя может быть двух типов: первичное (тепловой взрыв), распространяющееся с большой скоростью и поглощающее основное

количество кислорода, и вторичное (вспышка, тихое воспламенение), возникающее вследствие окисления оставшегося газа кислородом воздуха, который протекает в район взрыва извне, и движущееся медленнее в направлении, обратном первому. В очаге взрыва не весь кислород и метан вступают во взаимодействие, часть их остается, кроме того, образуются окись углерода - до 8,5 %, водород - до 10 %.

Распространяясь в атмосфере горных выработок, смеси кислорода, метана, окиси углерода и водорода образуют опасные зоны повторных взрывов, как в очаге первичного взрыва, так и за его пределами. Возможны взрывы газовой смеси в результате попадания воды в пожарный очаг, когда вследствие высокой температуры происходит разложение воды с образованием водорода и окиси углерода. При свободном доступе воздуха в очаг горения, образующийся горючий газ взрывается. Показательны в этом отношении взрывы горючих отвалов угольных шахт при попадании дождевой воды. В подземных условиях выявить причины взрывов при пожаре сложнее, тем не менее, в ряде случаев установлена генерация газов из пожарного очага при попадании в него воды. Такое явление происходит, когда поступающей в очаг воды недостаточно для охлаждения нагретых масс ниже температуры термической диссоциации воды.

Взрыв угольной пыли, как правило, инициируется взрывом метана. При тяжелой трудно взрывающейся пыли фронт пламени метана от пылевоздушного облака, взрыв пыли затухает из-за недостаточности кислорода, израсходованного на окисление метана. Наоборот, при достаточном количестве легковоспламеняющейся витающей пыли, особенно, при наличии метана, взрыв охватывает большие участки, иногда всю шахту.

Температура взрыва метановоздушной смеси в горных выработках изменяется от 1850 °С - в начале воспламенения до 2600-2650 °С - при развитии теплового взрыва (взрывного горения).

При дозвуковой скорости фронта пламени, т. е. при тепловом взрыве, перед ним движется волна сжатого воздуха, давление в которой непрерывно нарастает вплоть до выравнивания с давлением во фронте пламени при достижении скорости звука.

Набегающая волна давления сжимает газо-воздушную смесь перед подходом фронта пламени. Воспламенение при этом происходит при давлении, значительно превышающем атмосферное. Следова-

тельно, давление в очаге взрыва значительно превышает расчетное 0,9 МПа и может составлять 2,5-3 МПа.

Эффект нарастания давления увеличивается по мере удлинения пути пробега фронта пламени - ударной волны. Следовательно, наибольшее разрушение следует ожидать не в местах возникновения воспламенения и взрыва, а на границе очага аварии. Значительные механические повреждения наблюдаются также в местах большого гидравлического сопротивления (крутые повороты, сужения, расширения и т.д.) продвижению фронта ударной волны, а также продуктов взрыва.

Поэтому при определении места начального очага исследуют проявления характерных признаков - отброс предметов, обугливание, копоть и др.

При взрыве газо-пылевоздушных смесей формируются ударные волны (УВ), основной характеристикой которых является избыточное давление  $\Delta P_{\phi}$  над начальным, принимаемым за нуль (рис. 2.14).

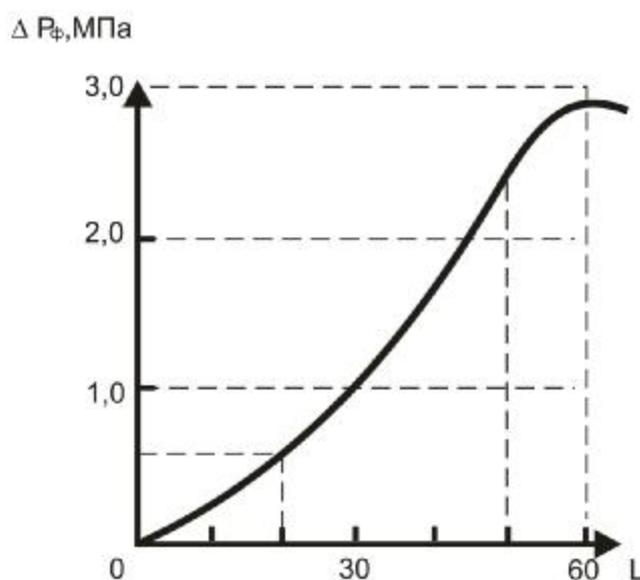


Рис. 2.14. График зависимости избыточного давления  $\Delta P_{\phi}$  во фронте ударной волны от суммарной безразмерной длины выработок  $L$  от первичного очага воспламенения до границы раздела горючая смесь – воздух (активный участок взрыва)

Избыточное давление в УВ нарастает по мере увеличения суммарной длины горных выработок, заполненных гремучей смесью.

Для определения  $\Delta P_{\phi}$  вычисляют суммарную безразмерную длину выработок  $\bar{L}$  от первичного очага воспламенения до границы раз-

дела «горючая смесь - воздух» (активный участок взрыва) по формуле:

$$\bar{L} = \sum_{i=1}^n \frac{L_i}{d_i} \quad (2.3)$$

где  $L_i$  - длина  $i$ -й выработки;  $d_i = 4S_i/\Pi_i$ , - приведенные диаметры  $i$ -й выработки;  $S_i, \Pi_i$  - соответственно площадь и периметр поперечного сечения  $i$ -й выработки.

Вычислив  $\bar{L}$  по графику, подобно изображенному на рис. 6, определяют соответствующее  $\Delta P_\phi$ .

В тех случаях, когда  $L \geq 65$  м для свободных выработок и  $L \geq 35$  м для загроможденных выработок или когда нет достоверных сведений о протяженности и загроможденности выработок, принимают  $\Delta P_\phi$  во фронте УВ равным 2,8 МПа. Принято считать, что безопасным для людей является  $\Delta P_\phi < 0,01$  МПа.

После прекращения взрывного горения ударная волна распространяется по прилегающим к очагу взрыва горным выработкам воздействуя, прежде всего, на заполняющий их воздух и образуя воздушную УВ, подпираемую взрывными газами из фронта УВ.

Во времени  $\tau$  этот процесс можно представить в виде функции  $P_\phi(\tau)$  (рис. 2.15).

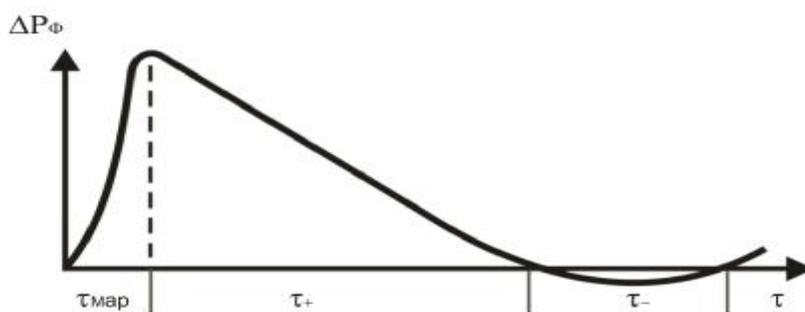


Рис. 2.15. График зависимости давления во фронте ударной волны  $\Delta P_\phi$  от времени  $\tau$  после прекращения взрывного горения:  $\tau_{нар}$  - время нарастания давления;  $\tau_-$  - время действия давления ниже исходного;  $\tau_+$  - время снижения давления до исходного.

Время нарастания давления определяется масштабами очага взрыва. Если принять, что давление нарастает до наибольшего

( $\Delta P_{\phi} = 2,8$  МПа) на участке длиной 65 м, а скорость фронта УВ почти линейно нарастает от нуля до звуковой (330 м/с), то  $\tau_{нар} \approx 0,5$  с. По наблюдениям в шахте  $\tau \geq 3$  с. Для определения  $\tau$  - надежных данных нет, однако известно, что оно меньше времени действия избыточного давления  $\tau$  в несколько раз.

Избыточное давление в УВ на удалении  $x$  от границы активного участка взрыва в прямолинейной горной выработке определяют по формуле

$$\Delta P_x = \Delta P_{\phi} e^{\frac{-K\Gamma}{S}x} \quad (2.4)$$

где  $K$  - коэффициент затухания УВ.

Давление во фронте УВ после прохождения сужения или расширения выработки можно определить по формуле

$$\Delta P_{\phi}^M = K_{зат} \Delta P_{\phi} \quad (2.5)$$

где  $K_{зат}$  - коэффициент затухания УВ, зависящий от степени сужения или расширения выработки.

Потери давления во фронте УВ при проходе через повороты и сопряжения определяют по графикам или номограммам.

Для получения давления во фронте УВ в заданной точке на плане горных работ суммируют все потери давления по протяженности горных выработок и местные потери, каждый раз считая, что в начале данной выработки или в некотором ее сечении действует давление  $\Delta P_{\phi}$ , оставшееся после прохождения фронта УВ предыдущего участка.

В тех случаях, когда УВ движется по выработкам, бока которых нагреты до температуры 100 °С и более, например в условиях пожара, давление в конце каждого участка увеличивают в 1,5 раза и принимают его в качестве начального для последующего участка. Последнее связано с тем, что вязкость нагретого до 100 °С и более воздуха ниже за счет ослабления межмолекулярного взаимодействия и повышения подвижности молекул. Следовательно, потери давления уменьшаются во всех видах аэродинамических сопротивлений.

Определение давления во фронте УВ в разных местах шахтного поля при взрыве и после взрыва газо-пылевоздушных смесей необходимо для:

- определения общего участка поражения в случае, когда известны (предполагается) положение и величина активного участка взры-

ва, чтобы направить туда силы и средства для оказания помощи пострадавшим;

- ускорения определения места активного участка взрыва по разведанным результатам прохода УВ;

- выбора безопасных мест на случай повторного взрыва для накопления сил и средств ликвидации аварий, для укрытия людей, установки перемычек и т. д.

Последствия взрыва газо-пылевоздушных смесей, если взрыв не ограничен призабойной зоной проявляются, прежде всего, почти в полном отсутствии кислорода, заполнении атмосферы ядовитыми газами, разрушении вентиляционных сооружений и обрушениях горных выработок. Одним из последствий взрыва может быть пожар. Для людей взрыв опасен ожогами, механическими травмами, отравлением и удушьем. Могут быть и вторичные последствия: затопления, аварии на подъеме и транспорте, загазирования и др.

Наиболее тяжелыми считаются последствия взрывов газо-пылевоздушных смесей при сложных схемах вентиляции. Такими схемами являются возвратноточные, особенно при центрально-сдвоенном расположении стволов. Большое число кроссингов, перемычек и дверей, разрушаемых при взрывах, приводит к прекращению проветривания многих участков шахты, даже непосредственно не затронутых взрывом.

Следует иметь в виду, что подача свежего воздуха может вызвать усиление пожара, а при обильном газовыделении и повторные взрывы.

При маневрах вентиляцией в случае взрывов руководствуются общим принципом: сокращение числа людей в зоне действия загазованной струи и времени воздействия ядовитых продуктов взрыва. Второе условие - недопущение повторных взрывов и разгорания очагов пожара.

Практическая реализация этого принципа связана с большими трудностями из-за неясности обстановки в первые 20-30 мин после взрыва, а при крупных авариях - в течение первого часа.

При проведении на шахтном поле дегазации разрабатываемой толщи скважинами с поверхности ее усиливают на аварийном участке всеми возможными средствами для снижения газовыделения в очаг пожара, отключая, если это возможно, другие скважины. При дегазации скважинами из горных выработок газопровод, из опасения

взрывов, отключают, продувают воздухом или заливают водой. В результате газовая обстановка на участке аварии усложняется, так как отключение дегазационных скважин усиливает газоотдачу в атмосферу выработок.

## **2.3. Рудничные пожары**

### **2.3.1 Характеристика подземных пожаров**

К рудничным пожарам относятся подземные пожары в горных выработках и угольном массиве, а также пожары на объектах промышленных площадок, если они угрожают жизни людей в шахте.

Подземные пожары, даже в начальной стадии своего возникновения и развития, представляют большую угрозу жизни людей, находящихся на пути распространения продуктов горения (пожарных газов).

Опасность подземного пожара возрастает, как источника воспламенения метановоздушной смеси и поступления взрывоопасных газов. Особую проблему создают развитые сложные пожары, ликвидация которых достигает нескольких месяцев, а иногда и лет.

Количественное соотношение экзогенных и эндогенных пожаров в различных геолого-промышленных районах существенно отличается, и зависит, в основном, от удельного веса добычи в них склонных к самовозгоранию углей, но в целом по шахтам Украины составляет соответственно 76 и 24%.

Также как и наземные, подземные пожары условно разделяются на классы: А – горение твердых веществ и материалов; В – горение легковоспламеняющихся и горючих жидкостей; С – горение газов; Д – совместное горение веществ и материалов с участием металлов или их сплавов; Е – горение электроустановок. При этом пожары категории Д не являются характерными для шахтных пожаров, а категория Е включает пожары на электроустановках до 1140 в. Основными горючими компонентами в горных выработках являются стойки, затяжки и верхняки деревянной крепи, конвейерная лента, гибкие кабели, минеральные масла и полимерные материалы, уголь, метан. Наибольшее число пожаров возникает в результате воспламенения оболочек кабеля и конвейерных лент - свыше 48% от общего числа пожаров (табл. 2.6)

Экзогенные пожары больше всего (до 70%) происходят в конвейерных выработках, имеющих высокую пожарную загрузку (горючая конвейерная лента, деревянные элементы крепи, минеральные масла в гидромуфтах и редукторах, электрические кабели).

Таблица 2.6 – Распределение экзогенных пожаров по первичным материалам горения

Материалы горения	Удельный вес, %
Уголь	6,0
Деревянная крепь	10,8
Конвейерная лента	17,8
Оболочка кабеля	29,3
Резиновая оболочка аккумуляторной батареи	1,0
Оболочка в электрических машинах	2,9
Взрывчатые вещества	2,9
Горюче-смазочные материалы	6,6
Метан	10,1
Древесные материалы за крепью	2,8
Прочие	9,8

Распределение экзогенных пожаров по местам возникновения приведено в табл. 2.7.

Таблица 2.7 - Распределение экзогенных пожаров по местам возникновения очагов

Место пожара	Удельный вес числа пожаров, %
Вертикальные выработки	3,4
Горизонтальные выработки без конвейеров	40,1
Горизонтальные выработки, оборудованные конвейерами	15,5
Наклонные выработки	9,2
Наклонные выработки, оборудованные конвейерами	20,5
Очистные забои	6,5
Тупиковые выработки	5,5
Камеры	6,9
Прочие	4,5

Из общего числа аварий, произошедших в 2010 году, наибольший удельный вес занимают подземные пожары – 28,5%.

Экономический ущерб от подземных пожаров, в 2010 году составил около 1,3 млн. грн. Его удельный вес в ущербе от всех аварий этого года равен 51,5%. Длительность ликвидации подземных пожаров в 2010г. составила 903,5 часов (54,8% от длительности ликвидации аварий), а трудоемкость их ликвидации – 38009 чел/час часов (71,7% от трудозатрат на ликвидацию аварий).

За последние годы эти показатели имеют следующую динамику относительно обще-годовых показателей (табл. 2.8, рис.2.16).

Таблица 2.8 – Удельные показатели от обще-годовых значений

Годы	Ущерб, %	Длительность, %	Трудоемкость, %
2005	14,7	32,7	27,1
2006	57,8	63,9	63,5
2007	80,1	55	30,5
2008	78,7	42,3	52,8
2009	54,4	54	67
2010	51,5	54,8	71,7

Из общего числа подземных пожаров 2010г. (12), 9 были потушены активным способом, 3 изолированы. В 2-х случаях возгорающимся веществом был метан, 1 пожар имел эндогенное происхождение. Данные о способах ликвидации подземных пожаров в 2010 году приведены в табл. 2.9.

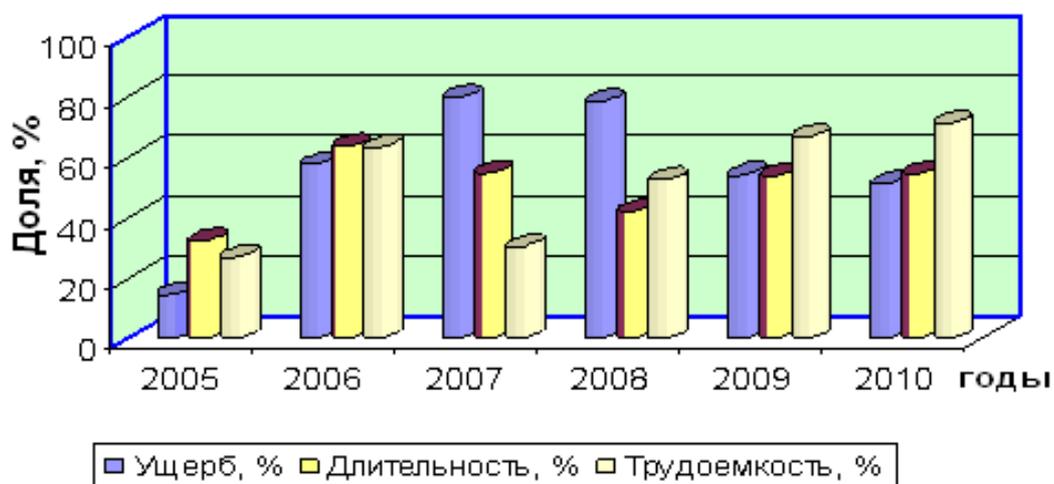


Рис. 2.16. Удельные показатели от годовых значений для подземных пожаров

Таблица 2.9 – Способы ликвидации подземных пожаров в 2010 году

Номер п/п	Номер отряда	Дата начала аварии	Дата окончания аварии	Руководящая структура	Шахта	Вид пожара и способ ликвидации	Способ ликвидации пожара
1.	4	14.02.10	15.02.10	Луганскуголь	им. Артёма	Экзоген., активный	Активный
2.	2	19.02.10	19.02.10	Первомайскуголь	Тошковская	Экзоген., активный	Активный
3.	10	17.03.10	20.03.10	Красноармейскуголь	им. А.Г. Стаханова	Экзоген., изоляция	Изоляция
4.	4	08.04.10	08.04.10	Самостоятельная	Перевальская	Экзоген., активный	Активный
5.	0	09.07.10	10.07.10	Донецкуголь	им. Е.Т. Абакумова	Экзоген., активный	Активный
6.	7	20.08.10	25.08.10	Краснодонуголь	Ореховская	Экзоген., активный	Активный
7.	3	24.09.10	26.09.10	Макеевуголь	Калиновская - Восточная	Экзоген., активный	Активный
8.	4	14.11.10	14.11.10	Самостоятельная	Белореченская	Экзоген., активный	Активный
9.	5	10.12.10	11.12.10	Ровенькиантрацит	им. С.М. Фрунзе	Экзоген., активный	Активный
10.	12	21.12.10	31.12.10	Львовуголь	Междуреченская	Экзогенный пожар	Изоляция
11.	3	28.12.10	02.12.10	Макеевуголь	Бутовская	Экзогенный пожар	Активный
12.	10	23.09.10	30.09.10	Добропольеуголь	Пионер	Эндогенный пожар	Изоляция

Это свидетельствует о том, что подземные пожары на угольных предприятиях представляют большую опасность для работающих в шахте людей и могут причинить огромный материальный ущерб. Опасность пожара возрастает, как источника воспламенения метано-воздушной смеси и поступления взрывоопасных газов. Особую проблему создают развитые сложные пожары, ликвидация которых достигает нескольких месяцев, а иногда и лет. Доля ущерба от подземных пожаров достигла 27% всех аварий, в ликвидации которых принимает участие ГВГСС.

В связи с этим, обеспечение пожарной безопасности производственных объектов имеет большое значение и регламентируются спе-

циальными государственными постановлениями и решениями.

На рис. 2.17 показаны сравнительные данные о количестве подземных пожаров за период с 1999 по 2010 г.г.

### ***Характеристика подземных пожаров***

Развитие пожара условно характеризуется тремя стадиями:

*начальной* - при которой происходит постепенное увеличение количества горючих материалов и объема кислорода, участвующих в горении;

*развитого пожара* - с примерно постоянным объемом материалов, сгорающих в единицу времени, и близким к полному расходу кислорода в воздухе, поступающем к очагу пожара;

*затуханием* - с постепенным уменьшением объема горючих материалов, сгорающих в единицу времени, и повышением доли кислорода в газообразных продуктах горения.

По причинам возникновения различают пожары: экзогенные - от внешних источников загорания; эндогенные - от самовозгорания угля и некоторых материалов, обладающих высокой химической активностью к окислению кислородом воздуха.

При пожарах различают следующие зоны поражения: пламенного горения, действия высоких и повышенных температур, распространения газообразных продуктов горения и дыма.

Развитие эндогенного пожара характеризуется инкубационным периодом, который включает стадии самонагревания и самовозгорания.

Стадию самонагревания определяют по отношению концентраций оксида углерода и водорода. Для стадии самовозгорания и горения оно меньше 10.

Температура очага нагревающегося угля от стадии самонагревания до стадии самовозгорания устанавливается по отношению концентраций этилена  $C_2H_4$  и ацетилену  $C_2H_2$ . Например, для угля марки К значения отношения долей указанных газов соответствуют следующим температурам: при 9 - 100 °С; 27 - 150 °С; 35 - 200 °С; 96 - 250 °С; для марки угля Ж указанные температуры будут при отношениях равных 18; 55; 115; 182, а для марки угля Т - соответственно 4; 13; 35 и 69.

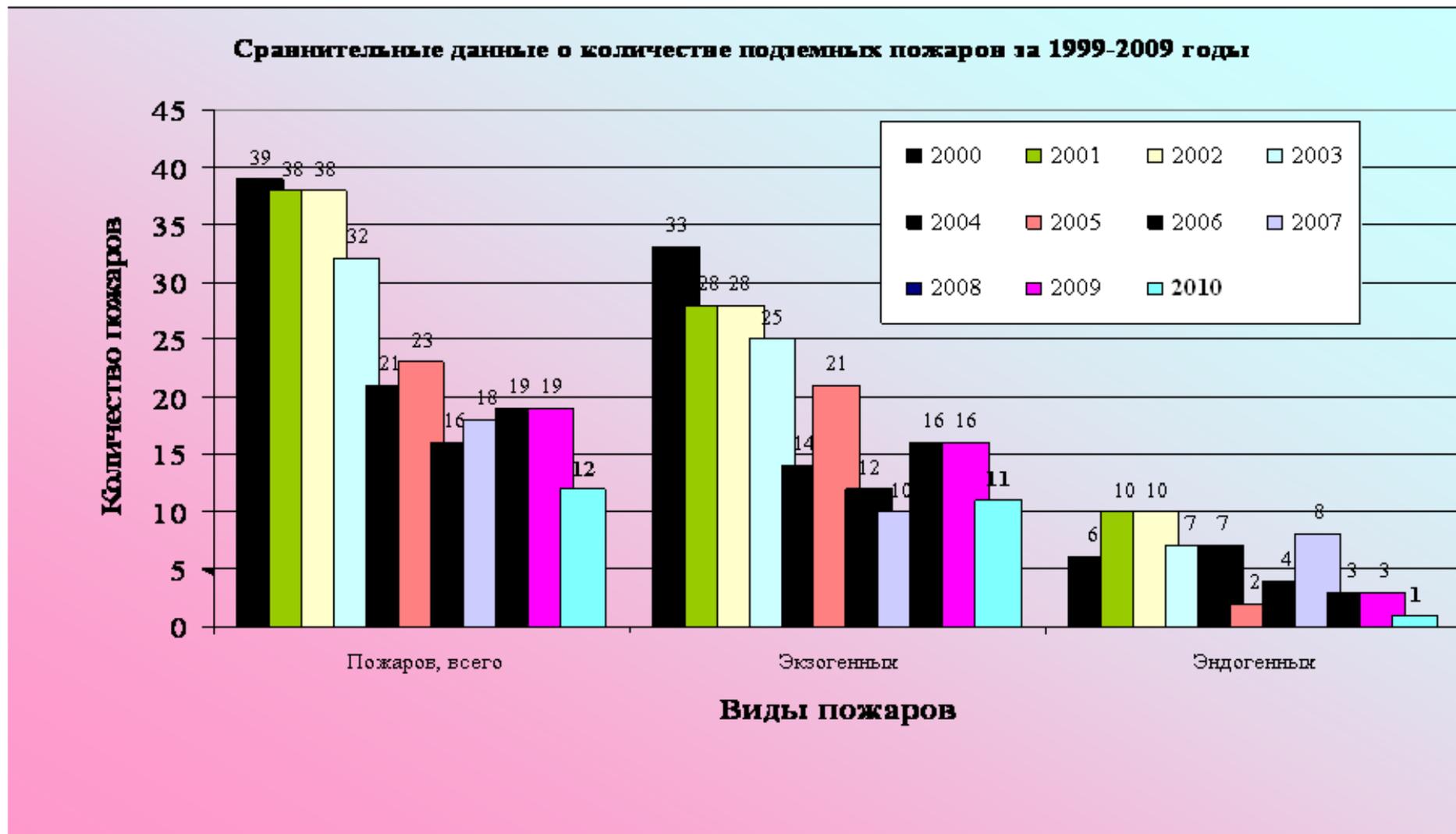


Рис. 2.17. Сравнительные данные о количестве подземных пожаров за 1999-2010 годы

Выбор технологии тушения пожара и огнегасящих материалов зависит от стадии развития пожара, зоны его распространения, вида горючих материалов, категории пожарной опасности и класса взрывоопасности.

### **2.3.2. Причины возникновения, особенности и развитие экзогенных пожаров на горных предприятиях**

По месту возникновения, пожары на горных предприятиях могут быть на поверхностном комплексе и в горных выработках.

#### ***Поверхностные комплексы.***

Причины возникновения пожаров в поверхностных комплексах весьма разнообразны.

К наиболее часто повторяющимся причинам возникновения пожаров относятся: неправильное ведение огневых и сварочных работ; нарушение правил эксплуатации отопительных печей и устройств, включая электрические; электрических сетей и электрооборудования; самовозгорание угля; разряды статического и атмосферного электричества; взрывы пылегазовоздушных смесей и паров (в том числе компрессорных); искрообразование и перегрев при трении, особенно при работе ленточных конвейеров, подшипников, редукторов и канатов.

#### ***Горные выработки.***

Источником внешнего теплового импульса подземных пожаров чаще всего являются:

- неисправные электрооборудование и кабельные сети;
- взрывные работы, последствия выгорания ВВ из-за неправильного заряжания скважин и шпуров, использования нестандартных ВВ и применения накладных зарядов; .
- газо-электросварочные работы при нарушении правил ведения их;
- трение канатов о дерево (шпалы, крепь и т. д.) и по полезному ископаемому, конвейерной ленты о не вращающиеся роликоопоры и пробуксовывающие барабаны, трение в неисправных и несмазанных подшипниках и редукторах;
- загорание метана в очаге самовозгорания, возникшего в глубине выработанного пространства, и передача пламени в атмосферу горной выработки;

- трение зубков буров проходческих и добывающих машин об уголь и, особенно о твердые включения, чаще всего сульфиды (прослой колчедана).

### ***Анализ причин пожаров экзогенного происхождения.***

В 2010 году в горных выработках и на поверхностных комплексах шахт допущено 19 пожаров экзогенного происхождения (11 и 8 соответственно).

Статистические данные, характеризующие отдельные показатели последствий экзогенных пожаров по причинам их возникновения приведены в табл. 2.10 и 2.11.

Наибольшее число экзогенных пожаров в угольных шахтах возникает от неосторожного обращения с открытым огнем и от неисправности электрооборудования.

При взрывных работах по углю и серной руде даже при соблюдении паспортных условий возможны загорания метана, пыли и мелких кусочков угля и серы вследствие теплового импульса взрыва, особенно при прорыве в призабойное пространство раскаленных газов и горящего ВВ по трещинам в массиве естественного происхождения или возникших при ведении горных работ. Широкое применение ленточных конвейеров на шахтах повлекло за собой увеличение числа подземных пожаров от трения ленты о не вращающиеся роликоопоры, пробуксовывающие барабаны и элементы конструкций и крепи. Опасность этих пожаров велика в связи с «растаскиванием» его при движении ленты со скоростью 1,8-3,2 м/с и более. В последние годы лента заменяется на трудновоспламеняющуюся.

Газо-электросварочные работы обычно ведутся на свежей струе в выработках, по которым подается воздух, что способствует быстрому развитию пожара.

Ряд крупных пожаров, на ликвидацию которых затрачиваются большие силы и средства, независимо от перечисленных первопричин развивается, прежде всего, из-за отсутствия в местах их возникновения средств пожаротушения, а также из-за неподготовленности персонала шахт и рудников.

Таблица 2.10 – Статистические данные о подземных экзогенных пожарах за 2007-2010 годы

Причины возникновения пожаров	количество, шт				ущерб, тыс. грн				длительность, час				трудозатраты, ч/час			
	2007	2008	2009	2010	2007	2008	2009	2010	2007	2008	2009	2010	2007	2008	2009	2010
Всего за период	10	17	16	11	11352	133746	26614	6279	490	4088	2146	734	14172	85552	60454	33827
Трение исполнительных органов машин и фрикционное трение	2	3	7	1	924	30232	21614	1862,70	90	565	1574	82,57	1951	11260	45286	5133
Нарушение ПБ при ведении взрывных работ	0	2	0	0	0	2240	0	0,00	0	166	0	0	0	8557	0	0
Нарушение ПБ при ведении огневых работ	1	0	0	0	7690	0	0	0,00	210	0	0	0	5048	0	0	0
Трение конвейерной ленты	1	3	3	1	0	547	0	263,00	4	760	0	9	68	11376	0	316
Неосторожное обращение с открытым огнем	1	2	4	4	355	53063	3565	3304,21	5	1814	102	341,3	270	26081	3314	18208
Неисправность электрооборудования	3	5	5	3	1025	9463	1187	219,20	116	380	353	156,5	4234	14499	8945	4149
Другая причина	2	2	1	2	1358	38200	248	629,50	65	404	118	145,1	2601	13779	2909	6022

Таблица 2.11 – Статистические данные об экзогенных пожарах на поверхности за 2006 - 2010 годы

Причины возникновения пожаров	количество, шт					ущерб, тыс. грн					длительность, час					трудозатраты, ч/час				
	2006	2007	2008	2009	2010	2006	2007	2008	2009	2010	2006	2007	2008	2009	2010	2006	2007	2008	2009	2010
Всего за период	11	12	12	10	8	332	623,7	2256	2976	1198	31	45	139	129	30	809	1341	2458	2847	1080
Нарушение ПБ при ведении огневых работ	0	0	0	1	1	0	0	0	204	1	0	0	0	7	5	0	0	0	267	182
Неосторожное обращение с открытым огнем	4	6	3	3	2	318	180,7	13	1042	3	18	23	16	74	2	572	674	334	1454	47
Неисправность электрооборудования	6	6	7	4	4	12,1	443	2193	1730	988	11	22	32	26	20	185	667	1054	680	676
Другая причина	1	0	2	2	1	2,2	0	50	2	206	2	0	91	22	3	52	0	1070	446	175

## Особенности и развитие подземных экзогенных пожаров

Схематично горящую горную выработку можно представить как протяженный вентилируемый канал, часть периметра которого выложена слоем горючего материала. Так как процессы горения и теплопередачи качественно отличаются, то в процессе горения условно можно выделить следующие четыре зоны (рис. 2.18).

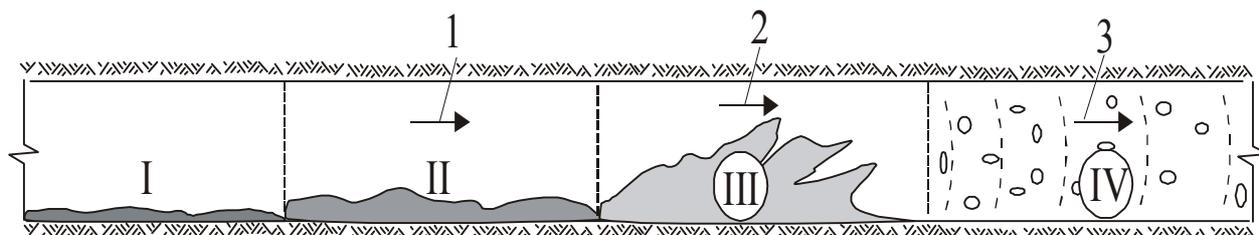


Рис. 2.18. Формирование зон горения горной выработки: I - зона охлаждения; II - зона догорания; III - зона горения; IV - зона предварительного нагрева; 1, 2, 3 - соответственно направление вентиляции, распространения пламени и движения продуктов горения

Первая зона является зоной охлаждения. Она образуется после сгорания шахтной крепи в результате охлаждения горного массива воздухом. Вторая - зона догорания, в которой образовавшийся древесный уголь окисляется кислородом воздуха. Третья - это зона горения летучих веществ, выделившихся при пиролизе древесины. Четвертая - зона предварительного прогрева деревянной крепи и горючих материалов.

В первом приближении механизм развития подземного пожара проветриваемой горной выработки может быть представлен следующим образом. Вначале пламя распространяется по деревянным затяжкам в направлении движения воздушной струи и вверх. При малых скоростях проветривания пламя распространяется в основном вертикально вверх, вследствие разности плотностей пожарных газов и поступающего воздуха. При этом за стойками крепи, где теплосъем минимальный, пламя распространяется вверх и, достигнув затяжек кровли, поджигает их. Примерно через 5-10 минут после начала горения затяжки кровли падают вниз, образуя на почве очаги, которые воспламеняют боковые элементы конструкции крепи. С этого момента на большей части периметра выработки начинается интенсивное

развитие пожара. При увеличении скорости движения воздушного потока пожар развивается быстрее, в то время как в начале разгорания такое же увеличение скорости только сдерживает его развитие. Через 25-30 минут на участке выработки, который воспламеняется в течение первых 5 минут, почва покрывается раскаленными затылками, а пламенное горение крепи к этому моменту времени в основном заканчивается. Более длительное время наблюдается наличие пламени в замках крепи. Через 35-40 минут на почву начинают падать горящие верхняки, через некоторое время - и боковые - стойки. Через 45-50 минут затылки на почве полностью сгорают, а через 120-150 минут полностью сгорает и вся крепь. По мере увеличения горячей поверхности наблюдается повышение температуры продуктов горения и нарастание в них окиси и двуокиси углерода, метана и водорода. При полном расходе кислорода на горение наступает относительная стабилизация значений температуры и состава продуктов горения при неизменном расходе воздуха, подаваемого к очагу пожара. Очевидно, что в этом случае расход материала на горение - максимальный.

В зависимости от мощности начального теплового импульса развитие пожара может происходить следующим образом. При мощном тепловом импульсе быстро наступает вторая стадия развития пожара. Если же мощность теплового импульса недостаточна для быстрого развития пожара, то происходит медленное распространение пламени по поверхности горючего материала. Такой режим развития пожара является неустойчивым, и при этом может наблюдаться либо самопроизвольное разгорание очага до наступления второй стадии либо прекращение горения в зависимости от того превышает приток тепла в этой зоне теплоотвод или нет. Переход подземного пожара из неустойчивого режима горения в стационарную фазу, возможен при температуре пожарных газов 500-550 °С. При этом, важное значение имеет направление и скорость вентиляционной струи, а также величина пожарной загрузки и физико-химические свойства горючих материалов.

Особенности протекания рудничного пожара заключаются в ограничении его воздушным потоком и стенками горных выработок. Вследствие первой особенности состав рудничной атмосферы претерпевает существенные изменения (рис. 2.19), которые зависят от температуры в очаге пожара.

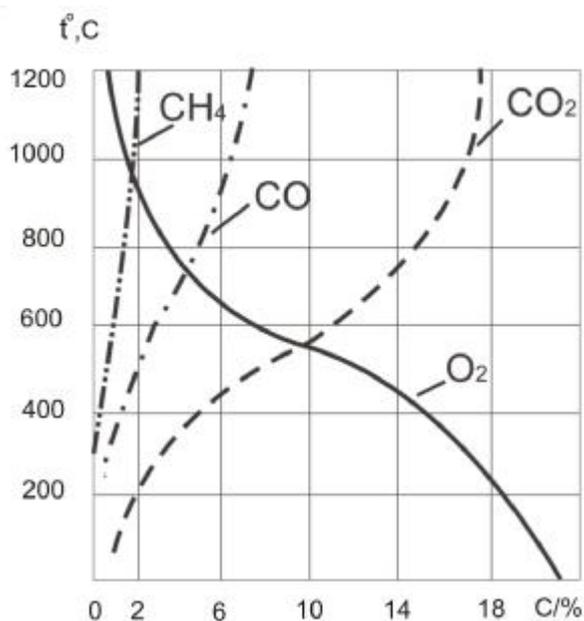


Рис. 2.19. График зависимости температуры пожарных газов  $t$  от их состава  $C$

Даже при деятельном разбавлении продуктов горения (пожарных газов) массовая концентрация кислорода снижается до 12 %, а объемная доля окиси углерода достигает 0,5-1 %. При температуре 1200 °С массовая концентрация кислорода приближается к нулю (см. рис. 2.19). Время разгорания пожара в горных выработках зависит от скорости вентиляционной струи, влажности крепи и других условий (рис. 2.20 ).

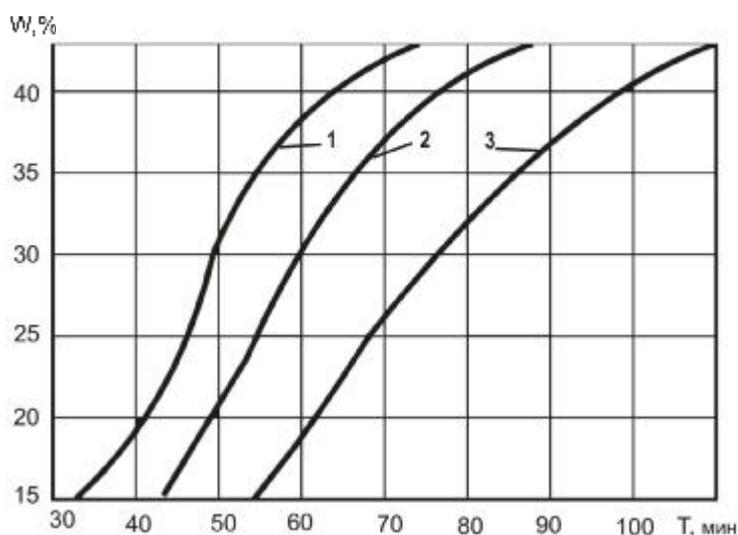


Рис. 2.20. Графическое изображение связи времени разгорания рудничного пожара  $T$  с влажностью крепи  $w$ : 1, 2, 3 – при скорости вентиляционной струи соответственно 3, 2 и 1 м/с.

Стенки выработок накапливают большие количества тепла, что обеспечивает передачу теплового импульса на большие расстояния по струе и создает теплокумулятивный эффект – взаимный разогрев теплоизлучением противоположных стенок выработок. Для ограничения распространения пожара по вентиляционной струе необходимо, в отличие от пожара на поверхностном объекте, охладить поток пожарных газов и стенки выработок. Рудничный пожар в горных выработках площадью сечения 6-12 м<sup>2</sup> при скорости вентиляционной струи  $\approx 1,7$  м/с распространяется как по ее ходу, так и навстречу ей, хотя и медленно; при скорости вентиляционной струи более 1,7 м/с – только по ходу воздушной струи. Распространение пожара навстречу вентиляционному потоку происходит по обычному механизму: нагрев – подготовка к горению – возгорание – горение. По ходу вентиляционной струи скорость распространения пожара может быть весьма значительной и пропорциональной скорости воздушного потока (рис. 2.21).

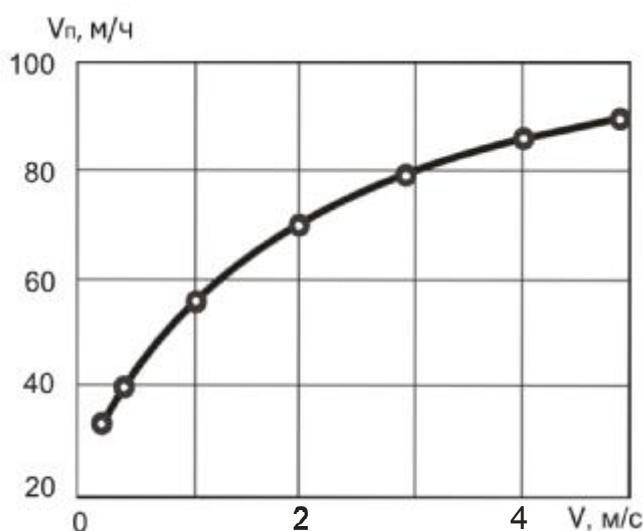


Рис. 2.21. График зависимости скорости перемещения пожара по горным выработкам  $V_p$  от скорости вентиляционной струи

При высокой температуре в очаге из-за отсутствия кислорода в отходящих газах горения не наблюдается, а происходит коксование и возгонка горючих материалов.

Ограничение рудничного пожара стенками выработок и вентиляционной струей позволяет использовать это обстоятельство для борьбы с пожаром путем вентиляционных маневров. Так, изменяя многократно направление вентиляционной струи с малым содержанием кислорода, удавалось тушить подземные пожары.

### **2.3.3. Условия, причины возникновения, особенности и развитие эндогенных пожаров**

На шахтах Украины ежегодно регистрируют до нескольких десятков эндогенных пожаров. Они стабильно остаются на втором месте, после экзогенных пожаров, по величине наносимого ущерба. Он достигает от 12 до 40 % от потерь, нанесенных авариями угольной промышленности. Подземные пожары возникают в труднодоступных местах, таких как выработанное или закрепное пространство, в целиках, в угольных отложениях за изоляционными перемычками, в пластах-спутниках. Подавление очагов горения в таких условиях затруднено, чем обусловлена самая высокая продолжительность ликвидации этого вида подземных аварий. Активным способом потушено только около трети, изолировано – около 60%, комбинированным способом ликвидировано 5% пожаров. Обозначилась тенденция к увеличению продолжительности и трудоемкости их тушения. Поэтому предотвращение или ограничение до безопасных пределов самонагревания угля – самый перспективный путь борьбы с эндогенными пожарами.

#### ***Условия и причины возникновения эндогенных пожаров на угольных шахтах Украины***

К началу третьего тысячелетия на балансе 59 шахт Донецкой и Луганской областей находилось 122 шахтопласта углей, склонных к самовозгоранию, еще пять – на пяти шахтах Приднепровского буроголевого бассейна и девять – на семи шахтах Львовско-Волынского бассейна. Подготовленные к выемке запасы этих углей составляли более 400 миллионов тонн, в основном коксующихся марок. Выемку пластов производили в интервале мощностей 0,5...2,3 м с углом падения 0...68°, на глубинах до 1400 м очистными забоями, имеющими длину до 320 м, оснащенными различными видами выемочного, доставочного оборудования и крепи, рассчитанными на добычу до 4000 т в сутки, фактические показатели достигали 5000 т и более.

Из-за несвоевременной изоляции выработанного пространства, некачественного возведения изоляционных сооружений, невыполнения профилактических мероприятий (в том числе в зонах геологических нарушений) и по другим причинам в течение последних 15 лет на шахтах Украины происходит ежегодно от 4 до 36 эндогенных по-

жаров. Большое количество их возникало в выработанном пространстве позади действующего очистного забоя, в изолированных или не изолированных ранее отработанных участках, велика доля самовозгораний угля в капитальных и участковых подготовительных выработках, (табл.2.12). Например, на шахте им. А.Ф. Засядько за 11 месяцев 1998 года помимо трех зарегистрированных эндогенных пожаров (возгорались: продукты внезапного выброса, деформированный целик, уголь в закрепном пространстве), не учтены более пятнадцати случаев самонагревания угля в зонах геологических нарушений, ликвидированные силами шахты.

Ежегодно 20...30 % эндогенных пожаров регистрировали на пластах, не отнесенных в число склонных к самовозгоранию. Например, на шахтах Западного Донбасса, где нет склонных к самовозгоранию пластов, эндогенные пожары и очаги самонагревания угля возникали в зонах геологических нарушений, раздавленных целиках, в скоплениях орошенного смазочными жидкостями угля. На антрацитовых шахтах единичные очаги самонагревания и возгорания отмечены в продуктах внезапных выбросов, деформированных целиках и в зонах геологических нарушений.

Динамика абсолютного количества эндогенных пожаров свидетельствует об их уменьшении на протяжении нескольких последних лет. Так в 1998 г их было 15, 1999 – 16, 2000 – 6, 2001 - 10, 2002 - 10, 2003 – 7, 2004 – 6, 2005 – 1, 2006 – 6, что объясняется значительным сокращением числа шахт в отрасли, а также спадом добычи угля на оставшихся в действии шахтах крутого падения.

Снижение относительного показателя (частного от числа пожаров отнесенных на миллион тонн добычи) не столь стремительно, оно колеблется в диапазоне 0.23...0,16. Для снижения искажающего влияния переходных процессов и обеспечения достоверности и надежности результатов анализа в данной работе рассмотрены статистические выборки за период с 1990 по 1997 год, когда процесс реструктуризации в отрасли не носил массового характера.

Более половины пожаров (55,5%) происходило из-за некачественной изоляции выработанных пространств действующих и отработанных добычных участков (табл. 2.13). Очевидно, что применяемые для этого средства и способы недостаточно эффективны или не технологичны.

Таблица 2.12 - Сведения о подземных эндогенных пожарах на шахтах Украины

Годы	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	Всего
Всего пожаров, в том числе на участках:	36	22	31	24	18	15	15	12	15	16	6	10	10	7	6	1	4	248
Действующих	9	4	9	8	7	3	3	3	6	4	2	3	3	3	2	1	2	72
Отработанных изолированных	2	3	4	5	2	3	1	-	3	2	1	2	2		1			30
Отработанных не изолированных	7	4	3	4	2	2	1	2	2	2								29
Горизонтальных	5	3	4	1	1	1	3	-	2	2	1	3	2					28
Наклонных	-	-	4	1	2	2	1	-		2								12
Тупиковых	-	2	4	3	1	3	-	2		1				2	1		1	20
Охранных целиках	2	2	-	-	1	-	-	1	2	1	2	2	3	1				15
Прочих местах	11	4	3	2	2	1	6	4	2	2	-	-	-	1	1		1	39

Таблица 2.13 - Причины возникновения эндогенных пожаров

Причина	Количество эндогенных пожаров									
	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	Всего	%
Несвоевременная изоляция отработанного участка	5	3	3	4	2	2	1	-	20	11,6
Некачественная изоляция отработанного участка	16	7	8	2	2	3	2	1	41	23,7
Некачественная изоляция выработанного пространства действующего участка	12	9	13	7	8	2	1	3	55	31,8
Невыполнение мероприятий в зонах геологических нарушений	1	2	5	4	3	2	2	3	22	12,7
Прочие	2	1	2	7	3	6	9	5	35	20,2

Необходимо отметить, что для отработанных добычных участков, где произошло 35,3 % самовозгораний, вопросы обеспечения эффективности и надежности применяемых технологий предупреждения самонагревания и самовозгорания угля, а также контроля состояния угольных скоплений, решены еще не в достаточной степени. Около четверти пожаров обусловлены невыполнением или несвоевременным принятием мер по предупреждению эндогенных пожаров.

Причины возникновения значительной части (20,2%) пожаров не установлены, такая же ситуация характерна для причин оставления пожароопасных скоплений угля при ведении горных работ (табл. 2.14). Примерно для пятой части (18,7 %) пожаров не определена причина оставления угля, что можно объяснить низкой технологической дисциплиной на шахтах. Неполная выемка угля была причиной основной части (38,7 %) пожаров, геологические нарушения - около трети (27,7%), а деформированные целики - остальных (15,7%).

Как правило, эндогенные пожары возникают в труднодоступных местах, таких как выработанное пространство, за крепью выработок, в толще угольного целика (особенно в деформированной краевой его части), за изоляционными перемычками, в зонах геологических нарушений (ЗГН). Подавление очагов горения в таких условиях

затруднено, чем обусловлена самая высокая продолжительность ликвидации этого вида подземной аварии. При этом активным способом потушено 36 % пожаров, изолировано - 57 %, комбинированным способом ликвидировано 5 % от числа возникших пожаров. На шахтах Центрального района Донбасса, где разрабатывают значительное количество склонных к самовозгоранию пластов, эти показатели несколько отличаются от средних, и составляют соответственно 23,4, 71,6 и 5 %.

Таблица 2.14 - Причины образования пожароопасных скоплений угля

Причина	Количество эндогенных пожаров									
	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	Всего	%
Оставление угля в охранных и барьерных целиках	3	7	6	5	4	-	1	-	26	15,1
Геологические нарушения	14	6	6	4	7	4	4	3	48	27,7
Выемка угля не на полную мощность	18	6	16	13	4	5	1	4	67	38,7
Прочие и неустановленные причины	1	3	3	2	3	6	9	5	32	18,5

За период с 2006 по 2010 годы на шахтах Украины произошло 18 эндогенных пожаров (табл. 2.15). Основными причинами являлись: нарушение изоляции выработок (6); геологические нарушения в массиве (6); несвоевременная уборка скопившегося угля (4) и разрушение целиков угля, оставленного в выработанном пространстве (2).

Главными недостатками, которые не позволяют предупредить эндогенные пожары, являются:

- проектирование горных работ без учета потенциально опасных мест в выемочном поле по возможности самовозгорания угля, отсутствие на стадии проектирования и выбора систем разработки способа предупреждения эндогенных пожаров;

- неприменение при отработке пластов мер, снижающих химическую активность угля в потенциально опасных местах;

- недостаточный контроль процесса самонагревания угля в потенциально опасных местах.

Условие недопущения самовозгорания угля в пожароопасной зоне обеспечивается в том случае, когда время нахождения угля в контакте с воздухом в пожароопасной зоне меньше инкубационного периода ( $t_{пз} < t_{инк}$ ).

Под *инкубационным периодом* понимают минимальное время, необходимое для самовозгорания взаимодействующего с воздухом угольного скопления, его определяют по известным методикам, исходя из физико-химических свойств угля. Реальная величина  $t_{инк}$  находится в пределах от 7 до 50 суток. при этом химический состав, содержание примесей, влажность и прочностные показатели угольного пласта в пределах выемочного столба считаются практически неизменными ( $t_{инк} = const$ ).

Проведенное обследование мест и обстоятельств возникновения эндогенных пожаров и очагов самонагревания угля, позволило выделить следующие характерные места самонагревания и возгорания угля и способствующие этому условия (рис. 2.22).

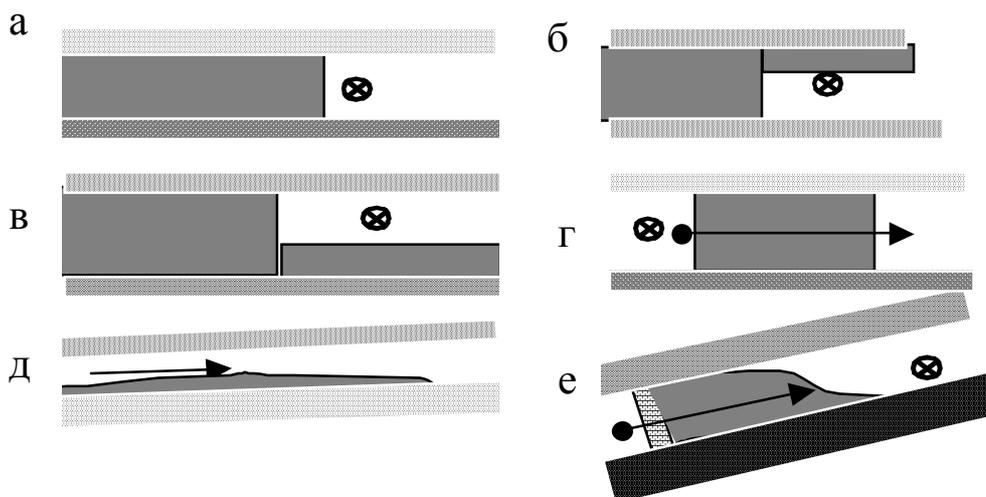


Рис. 2.22. Виды пожароопасных зон в выемочных полях: а - краевая часть пласта; б, в – пачки оставленного угля; г - угольный целик; д - оставленный на почве отбитый уголь; е - скопления отбитого угля; →- направление воздушной струи; ⊗ - движение воздушных потоков вдоль забоя, ●→ - фильтрация воздуха.

Пожары возникали в краевой части пласта, обнаженной при проведении очистных или подготовительных выработок, и омываемой воздухом (см. рис. 2.22а). В начальный период отработки выемочного поля очаги самонагревания и возгорания возникали преимущественно в раздавленной силами горного давления краевой части пласта

разрезной печи. Кроме того, возгорания происходили в зонах геологических нарушений (27,7 % пожаров, см. табл. 2.14) после развития неупругих деформаций вблизи контура выработки. В период формирования зон очевидцы нередко отмечали выделение метана с температурой превышающей характерный для массива уровень.

Значительное число эндогенных пожаров (38,7 %) возникло вследствие неполной выемки пласта. Такие ситуации имели место при оставлении пачек угля в кровле или почве очистной выработки (рис. 2.22б,в) при неустойчивых вмещающих породах, особенно часто на концевых участках очистных выработок при вынесении приводных станций скребковых конвейеров на пройденные с нижней подрывкой штреки или ходки.

Деформированные горным давлением угольные целики (рис. 2.22г) становились причиной возникновения 15,1 % очагов самовозгорания. Особенно часты эндогенные пожары в ленточных целиках, разделявших выработки с разным давлением воздуха. Депрессия определяла фильтрацию воздуха через весь объем целиков, что способствует его более интенсивному проникновению кислорода к углю, чем при обтекании поверхностных слоев.

Остающийся на почве пласта отбитый уголь (рис. 2.22д) становился очагом возгорания лишь при мощности скопления большей 20 см, что при разработке маломощных пологих пластов угольных месторождений Украины встречается довольно редко. Однако на пластах крутого и наклонного залегания скатывающийся по почве отбитый уголь скапливается в объемах больше критического в магазинных уступах и на костровой крепи.

У изолирующих перемычек в наклонных выработках наблюдались отдельные случаи возгорания угольной мелочи, осевшей из шахтных вод (рис. 2.22 е).

Как следует из приведенных данных, часто самонагревание происходит в угле, не подвергшемся непосредственному разрушению исполнительными органами горных машин, но претерпевшем влияние тектонических процессов, либо сил горного давления. Механизм зарождения и развития самонагревания угля в краевой части пласта и угольных целиках нуждается в углубленном изучении. В большей степени изучены процессы, происходящие в скоплениях измельченного при отбойке угля под действием фильтрующегося через них воздуха (рис. 2.22е). Подобные явления происходили при возгорании

скоплений измельченного угля, из пластов, не отнесенных в число склонных к самовозгоранию.

Следует обратить внимание на неравномерность распределения очагов самонагревания и возгорания в пределах шахтного поля, на многих шахтах число очагов, возникших в одном крыле, намного превосходит число возникших в противоположном. При этом химическая активность угля, технологические условия образования пожароопасных зон были практически одинаковыми. Объяснить, в первом приближении, эти аномалии можно неодинаковой степенью нарушенности разных участков шахтных полей или различием напряженно-деформированного состояния горного массива, что в конечном итоге определяло параметры пожароопасных зон.

Масса угля, в котором происходило самонагревание, колебалась в широких пределах от килограммов до десятков тонн и более. Как правило, очаги возникали в угольном пласте или скоплении, намного превосходящем их линейные размеры. В связи с этим такое понятие как «форма реактора» не представляется существенным при зарождении тепловых процессов в горных выработках. Минимальные размеры очагов нагретого или возгоревшегося угля, зафиксированные при разборке угольных пластов, составляли 10...15 см.

Таким образом, можно сделать заключение о том, что пожароопасные зоны (ПОЗ) характеризуются обязательным наличием проводящих воздух каналов (полостей) и мелкоизмельченного угля. Каналами являются горные выработки, полости за крепью и в выработанном пространстве, трещины в пласте, зазоры между кусками отбитого угля. Уголь в ПОЗ может быть в виде кусков, разрушенных в результате отбойки, обрушения или выброса, но часто это трещиноватый пласт или его краевой участок, не претерпевший непосредственного воздействия горных инструментов.

Анализ мест возникновения пожаров и наносимого ими ущерба показывает, что крупные и продолжительные аварии, наносящие значительный ущерб, происходили на шахтах отработывающих наиболее продуктивные пласты пологого падения. В качестве примера можно привести шахту им. А.Ф. Засядько, где более чем на год из-за пожара в подготовительной выработке задержана работа 9-й западной лавы пласта  $l_1$  с суточной нагрузкой до 4000 тонн. Аналогичные пожары имели место на шахтах им. Г.Г. Капустина, «Привольнянская», «Красноармейская-Западная № 1», «Краснолиманская» и др.

Таблица 2.15 – Статистические данные об эндогенных пожарах за 2006-2010 годы

Причины возникновения пожаров	Количество, шт					Итого	Ущерб, тыс. грн					Итого	Длительность, час					Итого	Трудозатраты, чел. час					Итого
	2006	2007	2008	2009	2010		2006	2007	2008	2009	2010		2006	2007	2008	2009	2010		2006	2007	2008	2009	2010	
Годы	2006	2007	2008	2009	2010		2006	2007	2008	2009	2010		2006	2007	2008	2009	2010		2006	2007	2008	2009	2010	
Несвоевременная уборка скопившегося угля	0	1	0	2	1	4	0	3,4	0	3420	9817	13240	0	11	0	280	169	460	0	159	0	6341	4182	10682
В результате разрушения целиков угля, оставленного в выработанном пространстве	1	1	0	0	0	2	289,3	303	0	0	0	592	179	60	0	0	0	239	3446	1379	0	0	0	4825
В местах геологических нарушений	2	3	0	1	0	6	10	20304	0	16	0	20329	24	1054	0	17	0	1095	274	18272	0	437	0	18983
Нарушение изоляции выработок	1	3	2	0	0	6	4940	546	508	0	0	5994	120	291	252	0	0	663	2443	5496	6579	0	0	14518
Итого	4	8	2	3	1	18	5240	21156	508	3436	9817	40156	323	1416	252	297	169	2457	6163	25306	6579	6778	4182	49008

Окисляющийся материал в отработанных площадях – это потери угля, сланца и руды, которые складываются главным образом из различного рода целиков - охранных, барьерных, аварийных и т. д., не вынимаемых, например, вследствие некондиционности пачек, рассеивания по площади и технологических потерь.

К потерям возгорающихся углей, сланцев и руд добавляются сопутствующие материалы, например древесина. Она не самонагревается, но раньше других материалов загорается в очаге самонагрева угля, находящемся в выработанном пространстве. Практика показала, что имеет значение не только величина потерь, но и то, как эти потери расположены в скоплениях. Наиболее опасны сосредоточенные по мощности потери, доступные для воздуха.

Существенную пожароопасность представляют целики, оставляемые вынужденно в зонах тектонических нарушений и при авариях во время ведения горных работ.

Наиболее пожароопасные межэтажные целики, так как они являются концентрированными скоплениями, через которые длительно просачивается воздух вследствие межэтажной депрессии. Возможны условия, при которых даже сравнительно небольшие скопления самовозгорающихся руд или угля становятся весьма пожароопасными. Это скопления мелкораздробленных руд или угля в рудопусках и углеспускных печах, достаточный приток воздуха к скоплению и большая окисляющаяся поверхность.

### ***Механизм самовозгорания***

Решающим условием самовозгорания является способность к окислению.

Механизм самовозгорания угля и руд имеет сходные черты и некоторые особенности. При соприкосновении кислорода воздуха с углем при низких температурах (до 50-100 °С) кислород активно сорбируется (поглощается) поверхностью угля. В сорбции участвует не только внешняя поверхность куска угля, но также внутренние поверхности пор и трещин, в которые имеется доступ. При сорбции 1 мл на поверхности угля выделяется 12,57 Дж или 280,73 кДж на 1 моль кислорода. Склонность углей к самовозгоранию различна. Основная закономерность состоит в том, что с увеличением степени метаморфизма углей их склонность к самовозгоранию уменьшается, что связано с уплотнением молекулярной структуры и снижением хими-

ческой активности их. Исключение составляет Горловская антиклиналь в Донбассе. Для месторождений СНГ неизвестны случаи самовозгорания антрацитов. Однако в пределах одной степени метаморфизма угли сильно отличаются по химической активности. В одном разрезе пласта отдельные слои могут сильно отличаться по склонности к самовозгоранию. Причем в одном пласте активнее матовые прослои, в другом - блестящие. Есть основание считать, что решающую роль здесь играет способность пропускать кислород, т. е. петрографическая структура угля. Например, фюзинит хорошо проницаем, и на контакте с ним греется витринит. По простиранию пластов активность угля имеет повышенное значение в зонах тектонических нарушений, особенно при разгрузке от горного давления. По падению пластов наибольшая активность часто наблюдается на глубине 50-100 м. На меньшей глубине она ниже вследствие выветривания, а на большей - уголь переходит в состояние малой активности. При длительном воздействии кислорода воздуха активность может возрасти. Отмечено повышение склонности к самовозгоранию углей с низкой метаноносностью и повышенной хрупкостью.

Углистые сланцы нередко обладают большей активностью, чем угли той же стадии метаморфизма, особенно при увлажнении. В месторождениях сульфидных руд углистые сланцы могут создать большую пожарную опасность, как и на угольных шахтах. Горючие сланцы значительно менее склонны к самовозгоранию, чем уголь.

Процесс окисления углей при контакте с кислородом воздуха включает следующие элементы:

- 1) диффузионно-конвективный газообмен у действующей поверхности угля;
- 2) адсорбцию кислорода поверхностью угля и десорбцию;
- 3) химические превращения - окисление угля; разрушение окисной пленки на поверхности угля, образование свободных радикалов; реагирование радикалов с валентно-насыщенными молекулами; переход  $\text{CO}$  и  $\text{H}_2$  в  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ , возврат последних из газовой среды на поверхность угля;
- 4) термическое разложение вещества угля с образованием летучих продуктов;
- 5) теплообмен внутри системы и со средой.

Эти элементы имеют разные сочетания и значимость, определяемые в основном температурой. В зависимости от преобладания тех

или иных элементов и температуры процесс приобретает ту или иную форму представленную на рис.2.23: низкотемпературного окисления; среднетемпературного окисления; неизотермичного во времени и пространстве процесса возгорания (иногда взрыва); неизотермичного в пространстве процесса горения.

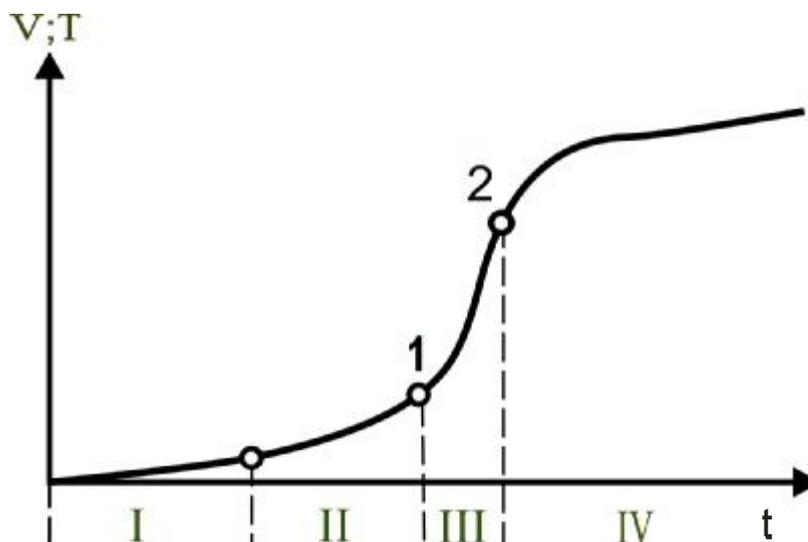


Рис. 2.23. График зависимости скорости окисления угля  $v$  и температуры  $T$  при самовозгорании от времени  $t$ : 1 – температура возгорания; 2 – температура воспламенения; I – низкотемпературная форма; II – среднетемпературная форма; III – возгорание; IV – горение

При низких температурах (ниже 50-100 °С) окисление угля идет медленно. Поэтому в большинстве случаев образующееся тепло успевает рассеиваться, и процесс можно считать изотермичным. Это значит, что его тепловые элементы выпадают из рассмотрения. Они могут приобретать значение только в некоторых частных случаях самонагревания, а также внешнего нагревания.

Самонагревание при низких температурах возможно только в случае очень затрудненной теплоотдачи в среду, что может реализоваться, например, в больших скоплениях угля. Внешнее нагревание влияет на перемещение очагов самонагревания.

Медленное поглощение кислорода обуславливает выравнивание его концентрации в газовой среде вплоть до поверхности угля (рис. 2.24). Поэтому приток кислорода к внешней поверхности не оказывает влияния на процесс, и движение газовой среды не может влиять на концентрацию в ней кислорода (на границе с поверхностью угля).

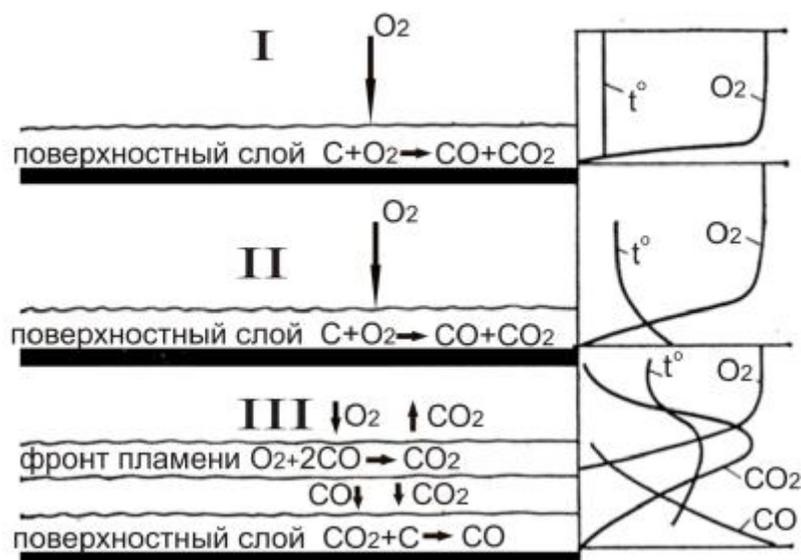


Рис. 2.24. График распределения концентрации газов  $c$  и температур  $t$  у окисляющейся поверхности угля ниже температуры возгорания (I), между температурой возгорания и воспламенения (II) и при горении (III)

Только в том случае, если газ долго соприкасается с углем, концентрация кислорода в газовой среде может уменьшиться. Это реализуется в изолированных или в очень больших скоплениях угля при слабом притоке воздуха. Очевидно, что в этом случае должно учитываться движение воздуха, так как от него зависит приток кислорода. Если при этом происходит еще и самонагревание, то течение воздуха может приобрести основное значение.

Реагирование кислорода с веществом угля идет значительно быстрее, чем приток кислорода к реагирующей поверхности внутри куска угля. Поэтому именно приток кислорода в трещинах и порах управляет скоростью окисления угля, и это является главным определяющим элементом процесса.

Для низкотемпературного окисления характерна его зависимость от рода угля, химической природы, структуры и главным образом газопроницаемости его.

Механизм процесса можно представить следующим образом. Кислород из газовой среды притекает преимущественно по трещинам. На этом пути он поглощается стенками трещин, и через образовавшийся слой «оксиугля» (слой продуктов окисления) достигает реагирующего вещества угля. Здесь он реагирует с отдельными атомными

группами, входящими в состав вещества угля, образуя содержащие кислород атомные группы. Они медленно отщепляются и перегруппировываются в молекулы легких продуктов окисления ( $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$  и др.).

При низких температурах это отщепление происходит значительно медленнее, чем присоединение кислорода. Вследствие этого слой «оксиугля» на реагирующей поверхности угля утолщается и его сопротивление притоку кислорода увеличивается. Поэтому окисление со временем замедляется.

Типичная форма низкотемпературного окисления сохраняется до температуры 100-150 °С. Выше некоторой температуры, которая неодинакова для разных углей, скорость окисления начинает увеличиваться быстрее, чем при более низких температурах (см. рис. 2.23). Это объясняется главным образом распадом слоя «оксиугля» на реагирующем веществе угля, а не только температурным ускорением химической реакции.

Из-за распада поверхностного слоя и улетучивания легких продуктов только часть прореагировавшего кислорода удерживается углем. Распределение кислорода между углем и улетучивающимися продуктами окисления закономерно изменяется с повышением температуры. При низких температурах почти весь кислород удерживается углем. С повышением температуры все большая его часть переходит в летучие продукты окисления.

Состав этих продуктов закономерно изменяется с изменением температуры. При низких температурах они состоят главным образом из воды. В небольших количествах образуется  $\text{CO}_2$ . С повышением температуры относительное количество воды уменьшается, а  $\text{CO}_2$  увеличивается.

При температуре около 400°С кислород перестает удерживаться каменным углем и весь переходит в летучие продукты окисления.

С повышением температуры скорость поглощения кислорода стенками трещин внутри куска угля увеличивается. Поэтому глубина его проникновения внутрь куска постепенно уменьшается, и действующей поверхностью становится только внешняя поверхность куска.

Когда сопротивление угля притоку кислорода из-за разрушения окисленного слоя на реагирующей поверхности становится незначительным, процесс переходит в типичную форму среднетемпературно-

го окисления. Для нее приток кислорода внутрь куска угля перестает быть определяющим элементом, так как реагирует только тонкий слой внешней поверхности куска. Вместе с тем, процесс идет еще достаточно медленно для того, чтобы концентрацию кислорода на внешней поверхности куска можно было считать не отличающейся от его концентрации в газовой среде. Поэтому приток кислорода не оказывает влияния на ход процесса. Главным элементом процесса в этом случае становится химическое реагирование. Это так называемая кинетическая область химических процессов, так как к ней применимы законы химической кинетики. Очевидно, что скорость среднетемпературного окисления не должна зависеть от движения газовой среды.

Весь прореагировавший кислород переходит в летучие продукты, вследствие чего окисленный поверхностный слой не утолщается и его сопротивление притоку кислорода не увеличивается. Поэтому скорость окисления не уменьшается со временем. Изменение ее может происходить только под действием других факторов.

Скорость окисления, как и при низких температурах, в значительной степени зависит от рода угля.

Типичная форма процесса среднетемпературного окисления сохраняется до температуры возгорания, при которой самонагревание угля получает большое значение и становится характерным для процесса.

Температура возгорания зависит от соотношения между генерацией и отдачей тепла. Она характерна для процесса, а не для химической реакции данного угля.

Самонагревание вызывает дополнительное ускорение процесса сверх того, которое вызвано повышением температуры среды. Поэтому небольшое повышение температуры воздуха вызывает резкое повышение температуры угля и ускорение процесса приобретает скачкообразную форму. Эту форму процесса можно рассматривать как самостоятельную, для которой характерны самоускорение вследствие самонагревания и неизотермичность в пространстве.

При более высокой температуре возникает новое изменение в механизме процесса, состоящее в том, что скорость расходования кислорода на внешней поверхности куска угля становится больше скорости притока кислорода из газовой среды. Поэтому его концентрация вблизи поверхности меньше, чем в газовой среде. Соответствен-

но уменьшается влияние температуры на ускорение процесса, и он выходит из «кинетической области», так как при этом большое значение приобретают элементы притока кислорода из газовой среды.

Дальнейшее изменение состоит в том, что летучие вещества, выделенные углем, начинают реагировать с притекающим кислородом. Это еще более уменьшает концентрацию кислорода вблизи поверхности угля. Когда концентрация этих веществ вблизи поверхности угля достигает предела воспламенения, образуется пламя. Температура воспламенения также характерна для процесса окисления угля, как и температура возгорания.

При этой температуре с углем начинают реагировать  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ . Это увеличивает образование горючих газов ( $\text{CO}$  и  $\text{H}_2$ ) вблизи поверхности угля, которые реагируют с притекающим кислородом. С дальнейшим повышением температуры количество горючих газов увеличивается настолько, что весь притекающий к поверхности угля кислород расходуется на их окисление в пламени и перестает достигать поверхности угля. Окисление ее идет только за счет  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ .

При этом процесс приобретает типичную форму горения. Главными его элементами являются диффузия и теплопередача между частями системы и в окружающую среду. Это так называемая диффузионная область химических процессов.

Реакции  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$  с углем эндотермичны. Поэтому температура угля становится ниже температуры прилегающего к нему слоя газа. Она поддерживается переносом тепла и излучением из фронта пламени (см. рис. 2.24).

Все эти изменения в механизме процесса окисления при переходе его в форму горения приводят к тому, что увеличение его скорости с повышением температуры резко уменьшается. Появляется сильная зависимость скорости окисления от движения газовой среды/так как оно ускоряет приток кислорода.

Различия в скорости окисления разных углей при этом сглаживаются, так как определяющим элементом становится приток кислорода в пламя, который не зависит от природы угля. Индивидуальные особенности углей проявляются главным образом в скорости выделения горючих газов.

При горении должно выделяться достаточно много тепла для поддержания участвующих в нем веществ в накаленном состоянии, т. е. в области температур, при которых процесс идет достаточно быст-

ро. Очевидно, что в этом случае существенное значение приобретает отдача тепла в среду.

Итак, с изменением механизма процесса, вызванным преобладанием тех или иных его элементов, изменяется его форма. Соответственно происходит изменение скорости окисления, зависимости ее от температуры, действующей поверхности и полей концентрации газов.

Количественное соотношение сорбции кислорода и десорбции газов при низкотемпературном окислении можно видеть из опыта с углем, измельченным до крупности - 0,25 мм. Навеска угля дегазировалась в вакууме в течение 16 ч при температуре 110°C. Это должно было вызвать значительное разрушение «оксиугля». После термостатирования при заданной температуре в прибор впускался кислород и его давление поддерживалось равным 2000 Па. Через 6 ч уголь опять дегазировался в вакууме при той же температуре, при которой происходила сорбция кислорода, и в полученном газе определялось содержание  $H_2O$ ,  $CO_2$ , и  $CO$ .

Установлено, что при 0° С около 40 % сорбированного кислорода десорбируется в неизменном состоянии. Но уже при 25 °С десорбируется лишь небольшая доля, около 5 % поглощенного кислорода.

Значительное количество воды образуется только при 70 °С. При 55 °С ее очень мало.  $CO_2$  начинает образовываться тоже при температуре около 60 °С, но в значительно меньших количествах. Только при 90 °С ее количество достигает 0,15-0,2 мл/г.

Для слабометаморфизованных каменных углей окись углерода появляется уже при 40-50 °С. Для более преобразованных углей  $CO$  или не обнаружены совсем, или только при 90 °С и в малых количествах (0,05 мл/г).

Общее количество десорбированного газа с повышением температуры от 0 до 30 °С уменьшается вследствие уменьшения количества кислорода, а затем увеличивается вследствие выделения  $H_2O$ ,  $CO_2$  и  $CO$ . Но в эти продукты окисления при всех температурах переходит лишь малая часть сорбированного кислорода. Большая часть его образует уголь - кислородный комплекс и не извлекается в вакууме.

Эти данные хорошо согласуются с представлениями о механизме окисления каменного угля. Большая часть поглощаемого кислорода связывается углем, причем образуется «оксиуголь». Десорбция части  $O_2$  в неизменном состоянии объясняется тем, что, находясь в слое

«окси-угля», он не успевает прореагировать. С повышением температуры постепенно ускоряется распад «оксиугля» с преимущественным образованием  $H_2O$ .

Для угля, ранее находившегося в контакте с воздухом, т. е. окисленного (например, оставленного в выработанном пространстве), дальнейшее окисление существенно ускоряет не только рост температуры, но и смачивание, ведущее к раскрытию и расширению микротрещин (с зиянием не ниже  $10^{-6}$  -  $10^{-7}$  м) за счет капиллярных сил и сил смачивания - растекания пленки воды по поверхности трещин и пор диаметром менее  $10^{-6}$  -  $10^{-7}$  м. Подкисленная или соленая вода, обычная в подземных условиях, действует более активно, как и другие электролиты вообще.

Активирующее действие воды тем больше, чем дольше уголь находится в соприкосновении с воздухом. На рис.2.25 показано увеличение удельной скорости поглощения кислорода увлажненным углем  $u_{вл}$  по отношению к сухому  $u_{сух}$  в зависимости от времени контакта больших кусков угля с воздухом. В выработанных пространствах шахт обычно наблюдаются подобные условия.

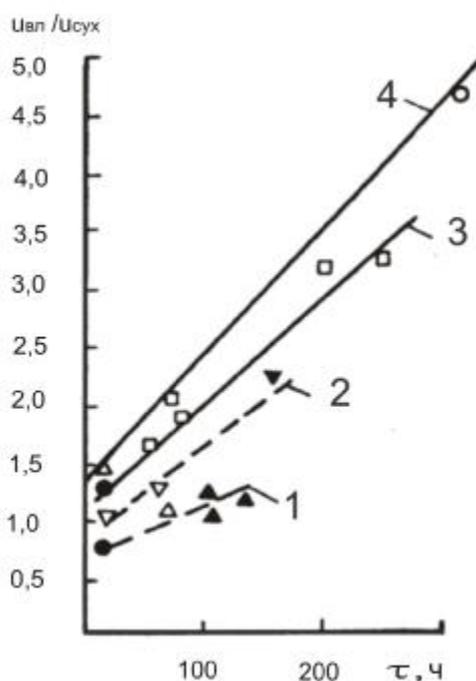


Рис.2.25. График отношения скоростей поглощения кислорода увлажненным углем  $u_{вл}$  и сухим  $u_{сух}$  в зависимости от времени контакта  $\tau$  кусков угля с воздухом для разных марок угля

Сульфидные руды сорбируют кислород в присутствии воды. При увлажнении скопления сульфидной руды в раздробленном состоянии удельная скорость поглощения кислорода многократно возрастает. Практика и прямые измерения скорости сорбции кислорода показали, что наиболее склонны к возгоранию руды, существенную часть которых образуют пирит и марказит. Весьма инертны при окислении галенит и сфалерит. Все сульфидные руды по содержанию серы в пересчете на массовые доли можно разделить на три группы: неопасные с содержанием серы менее 12 %; малоопасные с содержанием серы 12-30 %; опасные с содержанием серы более 30 %.

Однако не менее важна природная и технологическая нарушенность, раздробленность руды. Нарастание скорости сорбции кислорода отстает от нарастания поверхности зерен, что говорит об участии в сорбции поверхности пор и трещин. Весьма важен фактор времени. В отличие от углей сульфиды вначале снижают скорость сорбции, а затем могут повышать ее при неизменных внешних условиях.

С ростом температуры скорость сорбции кислорода нарастает (например, для Дегтярского месторождения) от 0,00016 мл/(г·ч) при 0 °С до 0,0012 мл/(г·ч) при 25 °С и 0,0065 мл/(г·ч) при 50 °С.

При окислении сульфидов не образуется хорошо выраженный оксислой, как при окислении угля. Хотя слой продуктов окисления на поверхности и нарастает, но он рыхлый вследствие гидратации продуктов окисления, осложненной растворением.

Большое значение для возникновения эндогенного пожара имеют геолого-горнотехнические факторы.

### **3.2.4. Горно-геологические факторы пожароопасности**

Условия самовозгорания создаются при ведении горных работ благодаря появлению притока воздуха к скоплениям разрыхленных пород, склонных к возгоранию.

Степень пожароопасности определяется геологическими особенностями месторождения, способами и скоростью ведения горных работ. Относительную пожароопасность залежи или пласта можно оценить по числу пожаров, приходящихся на 1 млн. т добычи при одинаковых системах разработки. Аналогично оценивают пожароопасность систем разработки при применении их в разных геологических

условиях. Иногда оценивают пожароопасность по времени возникновения пожара от начала работ на участке.

Важнейшими геологическими факторами пожароопасности являются:

- мощность пласта или рудного тела;
- угол залегания;
- сближенность пластов или рудных залежей;
- тектоническая нарушенность;
- характер вмещающих пород;
- глубина залегания;
- петрографический, химический состав пласта или рудного тела.

Чем больше мощность пласта или рудного тела, тем выше пожароопасность. Это обусловлено тем, что нарушения продуктивной толщи увеличиваются с ростом возмущающего воздействия. Кроме того, с увеличением мощности увеличиваются потери по площади, растут и потери в целиках, разрушаемых силами горного давления и представляющих собой скопления высокопроницаемого материала.

На мощные пласты месторождений Челябинского и Карагандинского бассейнов и Прокопьевско-Киселевского месторождения Кузбасса приходится около 85-90 % всех эндогенных пожаров, 10-15 % - на пласты средней мощности и 0-2 % - на тонкие пласты

С увеличением угла падения рудного тела или пласта увеличивается вертикальная мощность залежи, а также тепловая депрессия вентиляционной струи. При этом затрудняется пневмогидроизоляция отработанных площадей залежи. При прочих равных условиях крутые угольные пласты имеют в 3-3,5 раза больше очагов самовозгорания (Челябинский и Кузнецкий бассейны). Практически при углах падения менее  $20^\circ$  и мощности менее 3 м месторождение можно считать малоопасным по самовозгоранию.

После отработки сближенных пластов возникают большие нарушения в боковых породах и общие провалы на поверхности, что аналогично по своим последствиям отработке одиночного пласта большой мощности. Чем больше угол падения пластов, тем большее значение имеет их сближенность.

Связь тектонических нарушений с пожароопасностью обусловлена высокой проницаемостью пород и трудностью выемки полезного ископаемого из нарушенных зон. Вследствие этого увеличиваются аварийность горных работ и потери ископаемого в выработанных

пространствах.

В Донецком бассейне больше половины эндогенных пожаров зарождается в целиках, оставляемых в местах тектонических нарушений.

Нарушенные вмещающие породы легче обрушаются в выработанных пространствах и разрушают целики. Как показал В. С. Веселовский с сотрудниками, в тектонических нарушениях и вблизи них каменные угли часто имеют повышенную химическую активность. Это объясняется раскрытием в них микропор вследствие разгрузки от горного давления.

Крепкие боковые породы оседают в выработанном пространстве большими глыбами, между которыми остаются каналы для проникновения воздуха. Вследствие запаздывающего обрушения кровли предохранительные целики разрушаются. Некрепкая кровля легко обрушается и плотно заполняет выработанное пространство, особенно если породы кровли распадаются при смачивании водой. Таким образом, характер вмещающих пород влияет на разрушение целиков и плотность заполнения выработанного пространства.

Проницаемость вмещающих пород также имеет большое значение. Наиболее проницаемы трещиноватые каменные горные породы. На верхних горизонтах обычно все метаморфизованные породы имеют большую трещиноватость, вследствие чего перемычки плохо изолируют выработанные пространства. Очень легкопроницаемые горельники, т. е. породы в зонах выгорания угольных пластов. Практической непроницаемостью обладают глинистые породы в увлажненном состоянии.

Прослой угольных пород по химической активности подобны углям. Если они остаются в выработанном пространстве, то увеличивают скопления горючего материала и, следовательно, пожароопасность. В отдельных случаях отмечена повышенная склонность к самовозгоранию углистых сланцев в угольных месторождениях. По данным Г. Л. Стадникова, в Воркутском месторождении наиболее активны аргиллиты. Алевролиты же неактивны.

При разработке рудных месторождений, в которых добываемая руда не способна самовозгораться, большие осложнения могут вносить углистые породы. Аналогичную роль может играть пирит в сульфидных месторождениях.

Вблизи земной поверхности, иногда до глубины 50 м, горные породы, а также целики угля и руды имеют пониженную устойчивость. Это увеличивает пожароопасность, так как в результате ведения горных работ сильнее развиваются нарушения, которые облегчают приток воздуха. Целики быстро разрушаются и перестают выполнять свое назначение. В надштрековых целиках образуются куполообразные обрушения.

Сульфидные руды в зоне выветривания приобретают повышенную химическую активность вследствие образования вторичных сульфидов железа.

### **3.2.5. Горнотехнические факторы пожароопасности**

Главными горнотехническими факторами пожароопасности являются: способ вскрытия шахтного поля; способ подготовки выемочных полей и блоков; система ведения очистных работ и система и режим вентиляции.

Во время вскрытия и подготовки выемочных полей благоприятные условия создаются при проведении капитальных выработок по вмещающим породам, отработке шахтного поля и участков обратным ходом, отработке пластов с разделением на изолированные выемочные участки, проведении групповых штреков и других подготовительных выработок по полю и быстрой отработке изолируемого блока.

Так как очаги самовозгорания зарождаются преимущественно в выработанных пространствах (реже в целиках), они непосредственно связаны с системами ведения очистных работ.

Разные системы разработки значительно отличаются по характеру скоплений окисляющихся горных пород, которые образуются в результате применения этих систем, а также по структуре выработанных пространств и возможности использования профилактических мероприятий. Большое значение имеет степень нарушений в горном массиве, вызываемых различными системами разработки, а также условия притока воздуха в скоплениях окисляющихся горных пород. Эти скопления слагаются из потерь полезного ископаемого и сопутствующих пород.

Величина и форма скопления окисляющихся горных пород интерпретируются, прежде всего, как условия накопления тепла. Боль-

шое значение при этом имеет расположение этих скоплений относительно путей движения воздуха, а также степень измельчения, разрыхленности, разубоженности неокисляющимися материалами, присутствие крепежной древесины и т. д.

Сопутствующие породы, которые остаются в выработанном пространстве в измельченном состоянии, могут иметь не меньшую склонность к самовозгоранию, чем добываемая руда или уголь.

Многочисленные попытки увязать пожароопасность с величиной потерь не дали положительных результатов. Это объясняется главным образом тем, что учитываемые потери не находятся в прямой связи с количеством окисляющихся горных пород в выработанных пространствах. Кроме того, пожароопасность зависит не столько от величины потерь, сколько от их расположения - степени сосредоточенности и доступности для воздуха.

Наиболее пожароопасны межэтажные и межблоковые целики, так как они представляют собой более концентрированные скопления, через которые дольше и интенсивнее просачивается воздух.

Закладка предохраняет от разрушения межэтажные целики. Закладочный массив усаживается и не устраняет оседание боковых пород, однако уменьшает его интенсивность. Оседание боковых пород происходит частично даже тогда, когда коэффициент заполнения выработанного пространства близок к единице. Пожарные очаги возникают преимущественно над межэтажным целиком в выработанном пространстве.

Могут возникнуть такие условия, когда даже сравнительно небольшие скопления становятся пожароопасными. Это относится, прежде всего, к спускным печам вследствие особо благоприятных условий притока к ним воздуха.

Чтобы происходил приток воздуха, горная порода должна быть проницаемой и должна существовать разность газовых давлений и концентраций. Проницаемость пропорциональна квадрату площади поперечного сечения каналов в материале.

Проницаемость скоплений горных пород обычно неравномерна по их объему. Кусковые породы образуют каналы с повышенной проницаемостью вдоль твердых поверхностей и стенок, с которыми они соприкасаются. Со временем проницаемость скоплений изменяется неравномерно по их объему. Например, в выработанных пространствах она может увеличиваться вследствие оседания и раздав-

ливания целиков, но может уменьшаться вследствие слеживания горных пород. При насыпке в отвал или штабель крупные куски откладываются дальше мелких от места падения и скапливаются в нижней части.

Разность газовых давлений, вызывающая приток воздуха, создается принудительной вентиляцией, разностью температур и колебаниями атмосферного давления. Для штабелей и отвалов большое значение имеет также напор ветра.

Для самовозгорания важен не только внешний приток воздуха в скопление пород, но и внутренний - к реагирующему веществу внутри отдельных кусков пород. Этот приток зависит от степени измельчения породы. С ее увеличением ускоряется процесс окисления, а следовательно, ускоряется и генерация тепла. Однако скорость окисления увеличивается непропорционально увеличению поверхности зерен измельченного материала и имеет значительно меньший рост.

Вследствие разности температур на поверхности и в выработанных пространствах возникает тепловая конвекция воздуха. Обычно она направлена снизу вверх. При отсасывающей вентиляции в выработанные пространства через поверхность идут нисходящие токи воздуха, т. е. против направления тепловой конвекции, что уменьшает приток воздуха.

Самовозгорание происходит не сразу после соприкосновения окисляющегося материала с воздухом, требуется некоторое время, в течение которого образовавшееся скопление материала как бы подготавливается к самовозгоранию. Этот промежуток времени называется инкубационным периодом.

Длительность его зависит от многих факторов. С горнотехнической точки зрения главным из них можно считать нарушения, которые вызываются в горном массиве выемкой полезного ископаемого, так как они создают приток воздуха к окисляющимся породам.

В связи с этим сроки возникновения пожаров обычно отсчитывают от момента начала очистных работ. Если часть выработанного пространства подвергается изоляции, то срок должен отсчитываться от начала работ на второй, еще не изолированной части участка

Как показывает практика, большое значение имеет скорость ведения горных работ. С ее увеличением пожароопасность обычно уменьшается.

Для своевременного обнаружения очага самовозгорания весьма важно знать закономерности его распространения.

Как правило, очаг горения распространяется навстречу фильтрующемуся воздуху.

При фильтрации воздуха (рис.2.26) процесс горения от места возникновения пожара постепенно распространяется в сторону притока кислорода, поддерживающего горение, т. е. в направлении волнистых стрелок. Пунктирными стрелками показаны газы - продукты горения, выходящие из пожарного участка по трещинам и выработкам, соединяющим его с поверхностью.

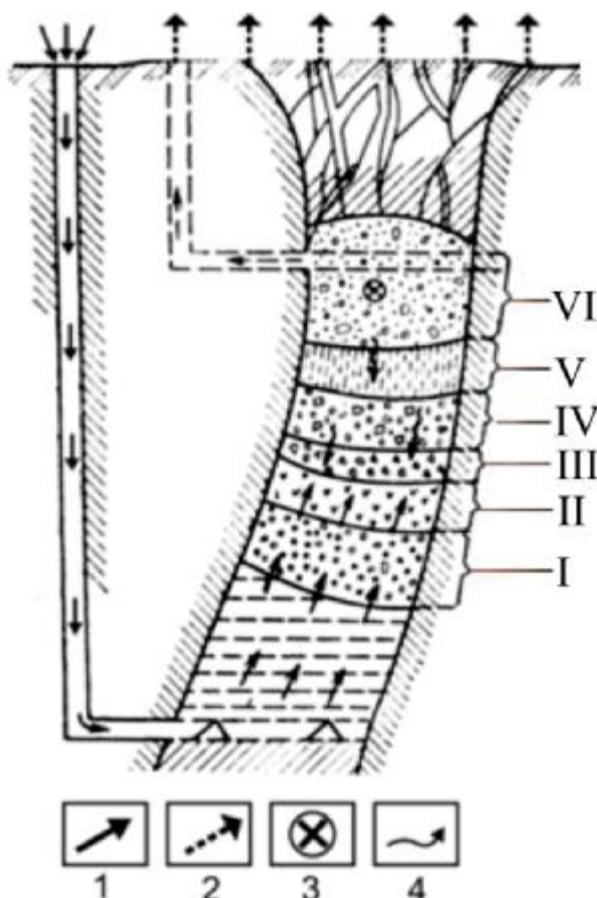


Рис. 2.26. Схема распространения очага эндогенного пожара: 1 – направление воздушной струи; 2 – направления движения газов, продуктов горения и окисления; 3 – очаг самовозгорания; 4 – направление движения очага самовозгорания.

С повышением температуры увеличиваются как тепловая депрессия, способствующая подосу воздуха в участок пожара, так и скорость реакций горения. В соответствии с этим возрастают активность и скорость распространения пожара.

Для быстрой локализации пожара необходимо полное прекращение к нему доступа воздуха с одновременным охлаждением очага горения.

При распространении очага эндогенного пожара различают следующие зоны его, последовательно перемещающиеся от очага возникновения в направлении притока воздуха (см. рис. 2.26).

I - зона испарения гигроскопической влаги; в этой зоне происходит выделение основной массы влаги, содержащейся в горючем;

II - зона выделения летучих; эта зона характеризуется пирогенетическим разложением горючего с выделением из него летучих веществ; здесь наблюдается начало практически заметного химического взаимодействия между кислородом и горючим веществом;

III - зона воспламенения; в ней происходит переход окислительного процесса во времени интенсивного горения. По размерам эта зона невелика, но роль ее значительна, так как она служит источником возникновения IV зоны;

IV - зона горения; для нее характерно наличие свободного кислорода и частиц раскаленного горючего;

V - зона восстановления; в ней газы - продукты горения - почти не содержат свободного кислорода, поэтому протекают преимущественно вторичные реакции восстановления;

VI - зона потухания, или инертная зона; характеризуется выгоранием горючего и накоплением золы, что в заметной степени происходит уже в зоне восстановления. В зоне потухания среди органической и неорганической массы, подвергнувшейся в той или иной степени пирогенетическому разложению, выделяются (как островки) включения негорючих инертных пород.

Если к очагу воздух поступает медленно сверху вниз, то пожар распространяется навстречу, вверх, или, как говорят, поднимается.

В Донецком Национальном университете проф. В.К. Костенко, Ю.Ф. Булгаковым и другими учеными дано современное представление о механизме самовозгорания угля в горных выработках, которое по согласованию с авторами, приводится в данном пособии.

В работах, посвященных вопросам самонагревания и возгорания угля в подземных горных выработках, можно условно выделить три доминирующих объекта исследований. Это химические и биохимические реакции, происходящие в угольном веществе под воздействием кислорода; теплофизические процессы, связанные с реализацией

или прерыванием этих реакций, горно-геологические и горнотехнические условия в горных выработках, определяющие особенности начала и хода реакций в выработках, тепло- и массообмена при этом.

### **2.3.6. Процессы, происходящие в угле под воздействием кислорода**

Угли являются сложными и весьма неоднородными веществами, относящимися к твердым горючим породам, образовавшимся из отмерших растений. Они имеют землистую, массивную, слоистую или зернистую текстуру, однородную или полосчатую структуру; цвет от коричневого до серо-черного, блеск от матового до металлического. Основные элементы углей: органическое вещество, минеральные примеси и влага. В химическом отношении органическое вещество сложено высокомолекулярными соединениями, структура которых изучена недостаточно. В его элементном составе преобладает углерод, имеются кислород, водород и сера; в незначительных количествах присутствуют соли органических кислот и металлоорганические соединения. Минеральные примеси рассеяны в органической массе или в угольных пластах в виде кристаллов, конкреций, тонких прослоев и линз. Наиболее распространены глинистые минералы; содержание их в среднем составляет 60-80 % от общей массы неорганического материала. Относительное содержание минеральных примесей в сухом веществе угля колеблется в широких пределах, с условным разграничением углей ископаемых и углистых пород по зольности ( $A^d$ - 50...60 %).

Существует несколько различных подходов к объяснению процесса самонагрева и возгорания угля в горных выработках. Спорным в настоящее время является вопрос о причине зарождения тепловых процессов. Ретроспективный анализ позволил выделить существующие более ста пятидесяти лет два направления в теории самонагрева угля – углеродное и пиритное. Согласно первому – самонагревание обусловлено химическими реакциями между углеродом органической части угля и кислородом воздуха; в соответствии со вторым – причиной самонагрева угля является окисление пирита, содержащегося в глинистых минеральных примесях.

Известно большое количество работ, посвященных исследованию процесса взаимодействия кислорода воздуха с углем. Значи-

тельная группа исследователей связывает начало самонагрева с низкотемпературным окислением углерода (химическая теория) при взаимодействии с воздухом. На основе обобщения данных литературных источников представляется следующая общая характеристика процесса самопроизвольного поглощения молекулярного кислорода ископаемыми углями.

При контакте с воздухом уголь интенсивно поглощает кислород. Поглощение происходит очень развитой внешней поверхностью и стенками пор, постепенно затрагивая все больший объем. Развитие зоны окисления можно наблюдать под микроскопом. На поверхности углей, подвергшихся длительному выветриванию, даже визуально заметно образование слоя угольной пыли. Следовательно, в процессе окисления происходит разрушение органического вещества угля, что послужило основанием для введения термина «окислительная деструкция» твердого топлива,

Еще в 1868 г. Рихтер, пропуская через высушенные образцы угля при различной температуре поток сухого воздуха, обнаружил, что, несмотря на выделение некоторого количества газообразного диоксида углерода и воды, все же большое количество кислорода оставалось неизменным на поверхности угля. Рихтер указал, что первой ступенью окисления углей является поверхностная конденсация кислорода.

При нагревании углей вплоть до  $100^{\circ}\text{C}$  равновесная газовая фаза содержит молекулярный кислород, а кислород, поглощенный углем при температуре жидкого воздуха, может быть десорбирован в неизменном виде без повышения температуры. Перечисленные факты говорят о наличии чисто физических и химических процессов взаимодействия кислорода с углями.

Профессором Веселовским В.С. совместно с сотрудниками изучена начальная стадия низкотемпературного окисления каменных и бурых углей, при которой еще не обнаруживаются изменения в их элементном составе. Для этого использован метод определения скорости сорбции углем кислорода по уменьшению концентрации последнего в сорбционном сосуде и установлены следующие закономерности, общие для углей всего метаморфического ряда. Они получены на основе экспериментальных данных преимущественно низкотемпературного окисления углей (от  $20$  до  $50^{\circ}\text{C}$ ).

1. Все угли при комнатной температуре поглощают кислород из воздуха. При этом выделяется незначительное количество продуктов окисления; большая часть кислорода удерживается углем и не может быть извлечена из него в вакууме.

Следует отметить, что незначительное количество продуктов окисления (диоксид углерода и вода) содержалось в воздухе реакционного сосуда, а в угольной массе их содержание значительно больше.

2. Скорость сорбции кислорода пропорциональна его концентрации в газовой фазе:

$$\frac{\partial M}{\partial \tau} = \frac{\partial(VC)}{\partial \tau} = UC, \text{ [мл/г ч]}, \quad (2.6)$$

где  $M$  – количество поглощенного кислорода, мл/г;  $V$  – объем воздуха на 1 г угля,  $C$  – концентрация кислорода, мл/мл;  $U$  – кинетическая константа скорости процесса, мл/г·ч.

Интегрируя уравнение (2.6), можно получить выражение для определения константы

$$-V \ln \frac{C}{C_0} = U\tau, \quad (2.7)$$

где  $C_0$  и  $C$  – концентрации кислорода в начальный момент времени и через  $\tau$  часов от начала сорбции.

3. При соприкосновении угля с газообразным кислородом в условиях хранения или в сорбционном сосуде происходит замедление сорбции во времени. Процесс делится на три периода. Первый не описывается с помощью простых закономерностей, он характеризуется наиболее быстрым уменьшением скорости сорбции кислорода, которое сильно зависит от состояния угля (степени его измельчения, окисленности, предварительного вакуумирования и пр.). Во втором периоде устанавливается регулярный режим процесса, а зависимость скорости сорбции от времени может быть с хорошим приближением описана уравнением

$$\frac{\partial M}{\partial \tau} = D\tau^{-N} \text{ или } UC = D\tau^{-N} \quad (2.8)$$

где  $D$  – коэффициент, численно равный скорости сорбции при  $\tau=1$  ч, мл/ч<sup>1-N</sup>;  $N$  – отражает темп замедления сорбции.

Уравнение (2.8) можно выразить в логарифмической форме

$$\lg U = \lg U_i - H \lg \tau, \quad (2.9)$$

где  $U_i$  – константа, не зависящая от концентрации кислорода и времени, равная  $\frac{D}{C}$ , мл/г·ч<sup>1-H</sup>.

Уравнение (2.9) дает возможность определить значения параметров  $U_i$  и  $H$  графически.

Исходя из уравнений (2.6) и (2.8), можно представить зависимость константы  $U$  от количества сорбированного кислорода.

$$U_0 - U = \frac{1 - H}{C\tau} M, \quad (2.10)$$

Уравнение (2.10) показывает, что замедление сорбции пропорционально количеству сорбированного кислорода. Из экспериментальных данных установлено, что по мере окисления уголь дезактивируется. Для более окисленных образцов первый период выражен менее отчетливо. Это объяснено образованием на поверхности угля слоя продуктов окисления. Третий период процесса сорбции кислорода характеризуется отклонением от экспоненциального закона в сторону дальнейшего замедления сорбции.

4. Для свежего угля скорость сорбции тем больше, чем меньше размер зерен. Однако со временем мелкие зерна становятся менее активными, чем крупные, следовательно, они не могут играть решающую роль в развитии процесса самовозгорания.

5. Зависимость скорости сорбции от температуры на полулогарифмической диаграмме изображается прямой линией

$$\lg U = \lg U_0 + Vt. \text{ или } U = U_0^{2,3Vt} \quad (2.11)$$

Эти прямые параллельны для всех углей и имеют тангенс угла наклона, равный 0,0156. При нагревании углей в интервале температур 0...75 °С скорость сорбции кислорода возрастает в 15-18 раз, что гораздо меньше, чем для гомогенных химических реакции (~ 180 раз). Следовательно, при указанных температурах скорость сорбции кислорода углями в основном определяется не химическим реактиванием, а скоростью диффузии кислорода.

6. Скорость сорбции кислорода уменьшается с увеличением степени метаморфизма угля и зависит от петрографического состава. Значения константы  $U$  для бурых, каменных углей и антрацитов составляют 0,15; 0,04-0,06 и 0,015 мл/г·ч соответственно.

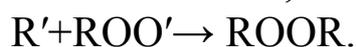
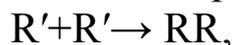
В середине прошлого века были выделены три фазы самовозгорания угля: самонагревание и тление, сухая перегонка, горение. При этом, первая фаза включает четыре стадии: сорбция и хемосорбция с компенсированной теплоотдачей (отсутствие нагрева,  $O_2$ , CO и  $CO_2$  – в норме); сорбция и хемосорбция с некомпенсированной теплоотдачей (нагрев на  $5..10$  °С, CO и  $CO_2$  – выше нормы); окисление с само-разогреванием угля (нагрев до  $70..90$  °С, CO и  $CO_2$  – выше нормы в  $1,5..2$  раза,  $O_2$  – менее 19 %); окисление и тление с испарением влаги из угля (повышение температуры до  $150..180$  °С, увеличение CO в  $2..3$  раза, снижение  $O_2$  до  $15..18$  %).

Согласно современным представлениям химической теории реакция окисления угля кислородом является гетерогенным процессом на границе между твердой поверхностью и газом. Она претерпевает несколько последовательных стадий: диффузия исходных веществ к поверхности раздела фаз; адсорбция исходных веществ на этой поверхности; химическая реакция, начинающаяся с поверхностного слоя, десорбция частиц продуктов реакции, образовавшихся в пограничном слое, диффузия частиц из реакционной зоны вглубь одной из фаз. Первичное зарождение теплоты может иметь различный механизм. Наиболее вероятным считают образование свободных перекисных радикалов в результате механического воздействия на уголь и распада отдельных механических связей. Пористая структура углей определяет большую реакционную поверхность доступную для кислорода, и содержащую радикалы (R).

Академик Кучер Р.В. и его последователи, развивая теорию академика Н.Н.Семенова о цепном свободно-радикальном механизме окислительных процессов, разработали следующую общую схему цепного окисления углеводородов органической массы каменных углей на неглубоких стадиях процесса:

- 1) зарождение цепи:  $RH \rightarrow R' + H'$ ,  
 $R' + O \rightarrow ROO'$ ;
- 2) рост или разветвление цепи:  $ROO' + RH \rightarrow ROOH + R'$ ,  
 $ROOH \rightarrow RO' + OH'$ ;
- 3) вырожденное разветвление цепи:  $RO' + RH \rightarrow ROH + R'$ ,  
 $OH' + RH \rightarrow HOH + R'$ ;

4) обрыв цепи с образованием нейтральных молекул:



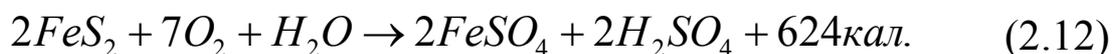
Инициирование требует значительной затраты энергии извне (нагрев, УФ-лучи, ввод легко диссоциирующих веществ и т.д.). Количество энергии, затраченной на протекание последующих стадий, уменьшается в таком порядке: инициирование (15 ккал/моль) > взаимодействие пероксидного радикала с углеводородом (8...12 ккал/моль) > реакция обрыва цепей (1...2 ккал/моль) > присоединение радикала к кислороду.

Заслуживают внимания результаты исследований влияния высоких давлений на физико-химические свойства каменных углей, из которых следует, что механодеструкция является одним из вероятных источников появления радикалов и инициирования цепных реакций.

В «углеродной» теории недостаточно четко определена начальная стадия процесса. Согласно законам физической химии скорость реакций относительно невелика при температуре окружающего массива и близкой к «точке росы» влажности шахтного воздуха, это определяет значительный период разогрева угля. Кроме того, выбывание окислившегося угольного вещества, как показал В.С. Веселовский, из реакционного объема и снижение концентрации кислорода в воздухе, определяют затухание процесса. В лабораторных условиях не удается воспроизвести самонагревание угля в соответствии с положениями этой теории.

В пользу пиритной теории самовозгорания угля свидетельствует повышенное содержание серы в склонных к самовозгоранию углях. При низкой стадии метаморфизма содержание органической серы в них составляет в среднем 2,5 %, с ростом степени метаморфизма оно снижается до 1,5. У не склонных к самовозгоранию углей процентное содержание органической серы составляет не более 1,4. Различают серу общую ( $S_t^a$ ), сульфатную ( $S_{so4}^a$ ), пиритную ( $S_p$ ), органическую ( $S_o^a$ ), общее содержание серы в ископаемых углях колеблется в интервале 0,19...12%. В углях Донбасса доля пиритной серы составляет  $S_p = 0,737S_t^a - 0,38$  от общей. На значительную роль серы указывают результаты проведенных НИИГД и ПБ «Респиратор» горно-статистических исследований пожароопасности выемочных полей.

Пирит при определенных условиях (имеется в виду характер его распределения в массе угля, свойства сопутствующих пород, и др.) может катализировать процесс окисления угля за счет выделения теплоты при собственном окислении в присутствии воды и образования активного к окислению сульфоугля:



Однако химические превращения пирита не могут привести к самовозгоранию угля из-за быстрого затухания реакции вследствие покрытия пирита продуктами реакции, в частности гипсом.

Качественно иной характер приобретает реакция выщелачивания пирита при участии в ней микроорганизмов. Фундаментальные исследования проведены в последние годы по исследованию процессов, происходящих в углях и залегающих вместе с ними горных породах, содержащих в своем составе соединения серы и железа, которые интенсивно окисляются в растворах под воздействием микроорганизмов (пиритная биохимическая теория) с выделением теплоты.

Согласно биохимической теории *самонагревание* представляет собой экзотермический процесс биохимического и чисто химического окисления и выщелачивания содержащегося в углях и породах пирита в растворах, с выделением элементарной серы, серной кислоты, и соединений железа. При этом проникающие в породы и угли тионовые бактерии расщепляют пирит, содержащийся на поверхности микротрещин и макропор, окисляют его и выделяющиеся одновременно при химических реакциях элементарную серу и двухвалентное железо. Биохимический процесс способствует увеличению реакционной поверхности пирита и температуры среды, что приводит к интенсификации чисто химических реакций в поровых растворах и на границе с твердым веществом. В итоге в самонагревающейся среде образуется химический реактор (очаг), в котором накапливается химически активная элементарная сера и серная кислота. Самовозгорание угля инициируется воспламенением паров серы, разогретой в реакторе до 248...261°C, От пламени горячей серы воспламеняется десорбирующийся метан, а затем, при повышении температуры, продукты термодеструкции углефицированных веществ, что стабилизирует процесс горения.

Таким образом, биохимическая теория дает объяснение начальному нагреванию угля до температуры 70...80°C, сопровождающемуся текущей регенерацией поверхности пирита, освобождением угольной и породной реакционных поверхностей, необходимых для поддержания высокого темпа нагревания частиц угля. Однако в анализируемых работах нет объяснения, откуда в труднодоступных местах горного массива, таких как угольные целики, пласты-спутники или зоны геологических нарушений, где происходит около 80% подземных эндогенных пожаров, появляются в значительных количествах необходимые для развития бактерий углекислый газ и вода. Недостаточно четко показано, каким образом происходит самонагревание от 70 до 160°C (воспламенение серы), когда происходит интенсивное нагревание и испарение воды, снижается содержание кислорода в ней, тионовые бактерии переходят в пассивную сферическую форму. При рассмотрении процессов, происходящих в расположенном в подземных горных выработках гидрофобном угле, не проведена количественная оценка взаимодействия воды и воздуха с находящимся на обнаженных поверхностях и середине кусков пиритом.

Несмотря на различную сущность углеродной и пиритной теорий самонагревания, необходимые для протекания реакций условия близки. Это наличие критического объема угля (пиритных включений) с развитой реакционной поверхностью (измельчение), доступа в него влаги и кислорода. Подобие условий определило одинаковые способы управления реакциями самонагревания угля, например сторонники обеих теорий рекомендуют обработку его суспензией гашеной извести или дистиллированной водой, снижение содержания кислорода в воздухе и т.п.

Следует отметить, что в работах, связанных с описанием процесса самонагревания угля в шахтных условиях совершенно не отражены причины движения воздуха в разрыхленной угольной среде.

В качестве рабочей гипотезы представляется вполне вероятным совместное течение биохимических и химических процессов самонагревания угля и пород при температурах менее 60...70°C с преобладанием химических – в диапазоне 70...250°C и выше. Однако ряд особенностей динамики этих процессов нуждается в уточнении, в частности необходимо установить: закономерности инициирования цепных реакций, образования значительной реакционной поверхно-

сти, особенности ускорения происходящих при нагревании угля диффузионных процессов.

До настоящего времени нет единого мнения не только о количественной, но даже и качественной оценке влияния влажности угля и воздуха на процесс самонагрева и самовозгорания угля. Некоторые исследователи считают, что влага тормозит развитие процесса самовозгорания, другие, наоборот, полагают, что влажность ускоряет окисление и увеличивает химическую активность угля, третьи утверждают, что действие влаги не оказывает заметного влияния, если только речь идет о неокисленном угле.

Большинство исследователей пришло к выводу, что увлажнение угля тормозит процесс его окисления. Вместе с тем некоторые ученые отмечают повышение активности мелкой фракции окисленного угля.

Решающее значение имеет вода и содержащиеся в ней кислород и диоксид углерода при биохимическом процессе самонагрева угля. Поровые растворы являются основными агентами выщелачивания пиритосодержащих пород и средой обитания тионовых бактерий.

С использованием метода электронного ПМР для оценки результатов экспериментов, не установлено химического взаимодействия сухих угля и воздуха при температуре 306...322 К. При температуре 303 К скорость поглощения кислорода углем с естественной влажностью ( $W^p=2\%$ ) в 13 раз меньше чем сухим углем. Для бурого угля было установлено, что при температуре 293 К повышение массовой доли влаги в угле с 47,7 до 60,9 % приводит к снижению скорости сорбции кислорода в три раза. Эти исследования показали также влияние естественной влажности угля на снижение сорбционной способности его при температуре 373...425 К. Однако отмечен факт увеличения количества парамагнитных центров в исследуемом влажном угле (по сравнению с сухим) при температуре 243 К.

Обоснована положительная роль влаги в профилактике самовозгораний угля и предложены некоторые способы удержания ее в угле. Установлено, что при повышении массовой доли влаги в угле с 2 до 7 % критический объем самовозгорания увеличивается почти в два раза.

Всю влагу в разрушенной угольной массе делят на влагу грубых пор, образующихся между частицами угля, и влагу, находящуюся в макро-, мезо- и микропорах непосредственно самих угольных частиц.

В свою очередь влага грубых пор, образующихся между разрушенными частицами, в зависимости от ее количества и крупности частиц угля, может находиться в трех состояниях: капиллярном, канатном и стыковом. При разработке пласта уголь, контактируя с воздухом, теряет влагу, присутствие которой в порах блокирует доступ кислорода к реагирующей поверхности пор угля. Пористая структура угля представляет собой гамму пор различных размеров: макропоры имеют поперечный размер более  $10^{-7}$  м, радиусы мезопор меньше  $10^{-7}$ , но больше  $10^{-9}$  м, микропоры характеризуются радиусами пор, находящимися в интервале  $0,5 \cdot 10^{-9} \dots 10^{-9}$  м. В макропорах преимущественным видом переноса вещества является объемная диффузия. Принципиальным для пор такой крупности является то, что в них не происходит конденсация влаги. Установлено, что даже при хорошей смачиваемости макропоры теряют всю предварительно введенную влагу в атмосфере воздуха с относительной влажностью  $\varphi=1$ . На поверхности мезопор, радиус которых много больше размеров адсорбированных молекул, происходит моно и полимолекулярная адсорбция.

Существенное отличие адсорбции в макропорах состоит в том, что во всем пространстве макропор, соизмеримых с адсорбируемыми молекулами, проявляется адсорбционное поле, создаваемое пористым телом. Ограниченность пространства микропор предопределяет тот факт, что проникающие в микропоры молекулы адсорбтива не образуют адсорбционных слоев. Адсорбция сводится к заполнению пространства микропор адсорбируемыми молекулами (адсорбатом), при этом процесс носит более активированный характер, чем при десорбции в порах большой крупности. При разрушении пласта вначале выделяется влага из грубых пор капиллярного состояния; затем канатного и стыкового состояний. После этого, по мере окисления угля и его нагревания, удаляется влага поли- и мономолекулярной адсорбции макро- и мезопор самих частиц, составляющих угольную массу, и в последнюю очередь - влага микропор. Процесс самонагревания угля до момента возгорания описывается следующим образом. При температуре в угольном скоплении менее 318 К, когда тепловынос ниже тепловыделения, в угольной толще создается перепад температур. Максимальную температуру имеют слои, непосредственно соприкасающиеся с очагом тепловыделения. Минимальная температура в этом случае будет у наружной поверхности скопления угля, омываемого потоками воздуха. На этой стадии окисления угля пере-

пады влагосодержания в скоплении малы. Влага (преимущественно в виде жидкости) под действием перепада температур перемещается по направлению потока тепла, то есть от очага нагревания во все стороны, в том числе и в сторону открытой поверхности. Одновременно испарение жидкости имеет место с открытой поверхности угольного скопления, что увеличивает градиент влагосодержания в толще. В результате этого влага из глубинных слоев скопления начинает перемещаться к открытой поверхности. Это вызывает постепенное уменьшение влагосодержания во всех слоях угольного скопления. На этой стадии самонагревания из угля удаляется капиллярная влага, а также влага канатного и стыкового состояний. Освобождение макропор от влаги образует дополнительные внутренние поверхности для сорбции кислорода и пути его проникновения в мезопоры.

При достижении в очаге самонагревания температуры 45...60 °С (в зависимости от влажности угля) из него удаляется влага полимолекулярных слоев мезопор. Когда температура возрастает до 62...90 °С, начинает выделяться влага мономолекулярного слоя при этом быстро повышается температура, интенсивно поглощается кислород и выделяется диоксид и оксид углерода. Если температура в очаге самонагревания достигает уровня, превышающего 90 °С, десорбция влаги начинает осуществляться из микропор. С точки зрения термодинамики зарождение и развитие эндогенного пожара можно рассматривать как процесс характеризующийся тепло- и массообменом, приводящим в конечном итоге к сушке угля. При этом следует иметь в виду, что, снижение влагосодержания угля непременно сопровождается увеличением количества образующейся теплоты вследствие интенсификации процесса окисления.

Известны экспериментальные исследования, из которых следует, что угли с низкой теплопроводностью более склонны к самовозгоранию. В этой связи позитивную роль должна сыграть также и влажность угля и обрушенных боковых пород, так как с ее повышением увеличивается их тепло - и температуропроводность.

Имеются противоречивые данные о роли влаги в процессах окисления и самонагревания угля. Достаточно подробно изучен механизм потери влаги при самонагревании угля, а характер взаимодействия воды и нагретого угля не определен. Вместе с тем для профилактики и локализации эндогенных пожаров широко применяются способы, в которых одним из компонентов является вода.

В процессе самонагревания угля непосредственное участие принимают такие газы как кислород и диоксид углерода. Важна роль метана, при низких температурах он вытесняет из воздуха кислород и является инертным балластом, а при температурах в очагах самонагревания выше 450 °С он - способствующий возгоранию угля компонент газовой фазы. Азот и диоксид углерода используют при профилактике и тушении эндогенных пожаров в качестве инертных добавок к воздуху для снижения содержания кислорода.

Известно, что при содержании кислорода в рудничном воздухе менее 12...15% процесс самонагревания угля не переходит в возгорание. Это объясняется недостаточным парциальным давлением кислорода над поверхностью воды, снижением содержания его в поровых растворах и торможением жизнедеятельности бактерий. Кроме того, при уменьшении в воздухе доли кислорода тормозится процесс окисления угля.

Однако при разогреве угля отмечается ускорение диффузии и усиление генерации тепла, при этом самонагревание может продолжаться даже при малом содержании кислорода в воздухе. Отмечается многосторонняя роль метана в торможении окисления угля. С одной стороны, угли, медленно отдающие метан, также медленно и окисляются, подвергаясь постепенно дезактивации (на этом основано предположение, что угли с большой остаточной метаноносностью мало опасны по самовозгоранию). С другой стороны, высокая газообильность выработанных пространств способствует быстрому созданию бескислородной среды, из практики известны эксперименты по искусственному загазированию изолированных отработанных участков с целью предотвращения самовозгорания угля.

Важна роль метана как промежуточного ингредиента, участвующего в процессе возгорания угля, определяемого биохимической теорией. Нижний предел воспламенения смеси метана с воздухом составляет около 4%, он не может быть обеспечен только газом, выделяющимся при малых темпах термодеструкции угля, нагреваемого воспламенившимися парами серы. В условиях диффузионного проветривания пористой среды происходит флегматизация воздуха продуктами окисления серы и метана и затухание горения. Более значимым представляется влияние приточного метана, содержащегося в рудничном воздухе. Наличие в воздушном потоке 4...10 % метана может способствовать переходу биохимического самонагревания в

горение, а при более высоком содержании наоборот - затухание. Однако в настоящее время отсутствуют достаточные экспериментальные и теоретические исследования о характере распределения метана в вентиляционных потоках, омывающих пожароопасные зоны в выработанных пространствах.

### **2.3.7. Методы обнаружение очагов самовозгорания.**

Первичной мерой обнаружения очагов является рассмотрение горно-геологической обстановки по планам горных работ, разрезам толщи и времени ведения горных работ в сопоставлении с физическими данными возникновения очагов самовозгорания на данном шахтном поле.

Следующим шагом является организация контроля во всех местах, представляющих опасность.

Методы обнаружения эндогенных пожаров разделяют на четыре основные группы:

- методы физиологические, основанные на обнаружении пожаров по так называемым «внешним» признакам, т. е. непосредственно улавливаемым органами чувств (зрением, обонянием, через болевые ощущения и др.) без каких-либо специальных приборов и аппаратуры;

- методы химико-аналитические, с помощью которых устанавливают признаки пожарной опасности в основном по результатам опробования и химического анализа рудничного воздуха, рудничной воды, горных пород, материалов рудничной крепи и закладки;

- минералого-геохимический метод, являющийся дальнейшим шагом в деле изучения подземных пожаров по составу горных пород путем наблюдения за вторичными минералами, образующимися при развитии окислительных процессов в руднике;

- методы физические, основанные на распознавании пожара специальными приборами по тем физическим параметрам, которые в определенной мере зависят от теплового состояния среды, температуры рудничного воздуха, воды и горных пород, влажности рудничного воздуха и др.

Целесообразнее всего комплексно пользоваться всеми имеющимися способами, взаимно дополняя и проверяя полученные данные.

**Физиологические методы.** При температуре около 50 °С почти 40 % прореагировавшего с углем кислорода переходит в воду. С повышением температуры количество этой воды уменьшается.

Вода гигроскопическая и образующаяся в результате окисления угля повышает влажность рудничного воздуха. Увеличение влажности в очаге возгорания может быть обнаружено на глаз в виде тумана и выпотов. Туман образуется при конденсации водяных паров в холодном воздухе, выпоты - путем оседания капелек влаги на более холодных поверхностях (крепи, стенках выработок и др.).

Следует иметь в виду, что туман и выпоты могут наблюдаться и при отсутствии нагревания ископаемого, например, в местах встречи двух воздушных струй с различной температурой. При этом образуется смесь воздуха, перенасыщенная водяными парами, в результате чего происходит конденсация последних.

Белые налеты (выцветы) на стенках выработок появляются в результате окисления сернистого железа и перехода его в сульфат.

В выработках угольных шахт верным признаком наличия пожарного очага является запах, напоминающий запах нефтяных продуктов (керосина, бензина и т. п.), а позднее, при дальнейшем развитии пожара - запах смолы (скипидара).

Этот запах (и масляный вкус) обусловлен присутствием в пожарных газах пентана ( $C_5H_{12}$ ), гексана ( $C_6H_{14}$ ) и других углеводородов предельного ряда в смеси с непредельными - этиленом ( $C_2H_4$ ), бензолом ( $C_6H_6$ ) и др.

Запах термического разложения сосновой смолы, вызванный испарением из нее эфирных масел, ясно ощутим в воздухе при нагревании древесины от 60- 70 °С.

При дальнейшем нагревании древесины хвойных пород, примерно до 90-130 °С, появляются более острые запахи - муравьиной кислоты и скипидара, а затем, начиная со 120-140 °С и выше, - характерный кисловато-битуминозный запах (в результате образования при дистилляции древесины некоторых количеств уксусной кислоты, метилового спирта и дегтя).

По мере нагревания древесины запах дегтя становится все более ощутимым.

Для рудников показателем служит запах сернистого ангидрида ( $SO_2$ ), появляющийся при нагревании самородной серы и сульфидов.

SO<sub>2</sub> - газ с чрезвычайно резким запахом и вкусом, раздражает слизистые оболочки носа, рта и гортани; его присутствие в воздухе ощущается уже при объемной доле 0,0005 %.

При разгорании пожара эти запахи сменяются пожарным смрадом, напоминающим запах горящей каменноугольной смолы или дегтя. Вслед за этим появляются дым и (не всегда) пламя.

Несколько ранее пожарного смрада в воздухе выработок уже явно ощущается примесь удушливых газов (CO<sub>2</sub> и др.), содержание которых в воздухе выработок постепенно возрастает.

Запах SO<sub>2</sub> можно чувствовать в рудничном воздухе и при отсутствии пожара; он может выделяться, например, при бурении шпуров по сернистым породам, при взрывных работах и т. д.

К внешним тепловым признакам относятся воспринимаемые человеком повышение температуры рудничного воздуха и воды, нагрев отдельных мест на поверхности пород, угля, руд и т. п.

Наблюдениями установлено, что экзотермические реакции окисления ископаемых, достигнув известной степени интенсивности, служат причиной ряда патологических симптомов в человеческом организме.

Болевые ощущения в этих случаях обусловлены главным образом токсическим действием на организм специфических «пожарных» газов, незначительное количество которых появляется в рудничной атмосфере уже на ранних стадиях эндогенного пожара.

Наиболее ощутимым и частым на этой стадии пожара является продолжительное воздействие на организм слабых концентраций окиси углерода.

При развитии процессов самонагрева организм, реагируя на создавшиеся в подземных выработках атмосферные условия, может испытывать ощущение тепла и общее неприятное самочувствие, сопровождающееся усиленным потоотделением, изредка ощущение легкой боли кожи в местах, открытых для действия газов, чувство угнетенности, а также быстро наступающую и проходящую головную боль.

**Химико-аналитические методы.** Уменьшение содержания в воздухе кислорода и увеличение количества углекислого газа может быть вызвано помимо действия очага самовозгорания общим ухудшением проветривания шахты, а иногда повышенным выделением из горных пород каких-либо газов.

Поэтому сам по себе факт уменьшения содержания в рудничной атмосфере  $O_2$  и увеличения  $CO_2$  без учета местных условий и динамики процесса не всегда может рассматриваться как несомненный признак очага самовозгорания. Если  $CO$  и  $CO_2$  обнаруживаются в воздухе выработок как постоянные компоненты, то это указывает на серьезную опасность возникновения очага самовозгорания.

Практикой угольных шахт установлено следующее.

Если хотя бы ничтожные количества окиси углерода появляются в воздухе как постоянная и увеличивающаяся примесь, то это служит несомненным признаком пожара.

Не следует, однако, забывать, что некоторые пласты ископаемых углей, например, месторождений Челябинского бассейна, выделяют окись углерода в незначительных количествах и при отсутствии пожара. В то же время исчезновение из воздуха  $CO$  и  $H_2$  в изолированном участке может явиться следствием окисления их бактериями.

Появление в рудничном воздухе сернистого ангидрида в качестве постоянной и нарастающей примеси, не обусловленной нормальными процессами производства, следует считать (подобно тому, как это установлено для  $CO$ ) явным признаком очага самовозгорания.

Однако сернистый ангидрид, обладая большой плотностью по отношению к воздуху и значительной растворимостью в воде (в одном объеме воды при  $0^\circ C$  растворяется около 80 объемов  $SO_2$ ), редко находится в воздухе в ранней стадии пожара в количествах, поддающихся определению методами технического газоанализа. Чаще о сернистом газе узнают по его специфическому запаху, чем аналитическим путем.

Обычно количественно определяют содержание в воздухе выработок углекислоты, кислорода, метана, окиси углерода, реже - сернистого газа и окислов азота. При пожаре следует также выяснить содержание водорода, а иногда этана и этилена.

Для определения содержания в воздухе  $CO$ ,  $SO_2$  и окислов азота пользуются колориметрическим способом, основанным на изменении окраски реактивов после их взаимодействия с газами.

Для ранней стадии самовозгорания угля точность индикаторов окиси углерода должна быть не менее объемной доли, равной 0,001-0,002 %.

По полученным данным анализа проб воздуха производятся следующие расчеты.

1. Определение уменьшения содержания кислорода в воздухе по азоту:

$$-(\Delta O_2) = 0,265N_2 - O_2, \quad (2.13)$$

где 0,265 - нормальное отношение  $O_2$  к  $N_2$  в воздухе ( $20,96 : 79 = 0,265$ );  $N_2$  - массовая доля азота в пробе;  $O_2$  - массовая доля кислорода.

2. Определение прироста углекислоты путем вычитания из установленного анализом содержания  $CO_2$  нормального содержания  $CO_2$  в атмосферном воздухе (0,04 %).

3. Определение прироста содержания в пробе окиси углерода + (CO),  $SO_2$  и других газов.

Вода, выходящая из очага самонагревания сульфидных руд, характеризуется высокой окисляемостью перманганатом, что обусловлено содержанием в ней двухвалентного железа  $Fe^{+2}$ , сернистого газа  $SO_2$  и продуктов распада древесины.

$Fe^{+2}$  и  $SO_2$  являются первичными продуктами воздействия на сульфиды воды и кислорода воздуха, поэтому высокая концентрация их в рудничной воде указывает на интенсивно идущий процесс окисления сульфидов.

Таким образом, повышенная минерализация и окисляемость подземных вод может быть признаком начинающегося эндогенного пожара. Для анализа следует брать по возможности проточную воду, измеряя при этом ее дебит и температуру.

**Минералого-геохимический метод.** В условиях активизации окислительных процессов протекают реакции, способствующие образованию особых минеральных ассоциаций. Эти ассоциации, по предложению Г. Н. Вертушкова, можно выделить в особую генетическую группу так называемых «минералов подземных пожаров». Г. Н. Вертушков выделил и описал свыше 20 таких минералов.

Для каждой фазы пожара характерны свои геохимические процессы минералообразования. Следовательно, каждая фаза пожара отличается своей особой ассоциацией минералов, которая изменяется в основном в зависимости от возраста пожара и химического состава руд.

**Физические методы.** При термометрических наблюдениях производят замеры и исследования температуры воздуха и воды в рудничных выработках, непосредственно доступных наблюдателю, а также в контрольных скважинах и шпурах.

По данным наблюдений строят геоизотермы, по которым производят оконтуривание очагов самонагревания, определяют скорость и направление развития или затухания тепловых процессов в недрах.

Имея разрезы пожарного участка в геоизотермах, можно решить ряд практических задач: наблюдать наличие или отсутствие в пределах данного участка опасного повышения температур; определять границы зоны повышенных температур; изучать процесс протекания начинающегося пожара во времени, его усиление или ослабление через определенные промежутки времени; определять направление и скорость подвигания пожара по различным направлениям и т. д.

Метод оконтуривания пожарных участков в геоизотермах применяется как на рудниках, так и на угольных шахтах.

Наблюдения влажности рудничного воздуха с применением психрометра проводятся одновременно с определением количества его, проходящего по выработкам, и барометрического давления в пунктах замера.

Зная абсолютную влажность, легко определить теплосодержание единицы объема воздуха.

Графики, построенные в координатах теплосодержание - время, позволяют дополнить данные, получаемые замером температур.

Может оказаться, например, что в течение некоторого времени теплосодержание воздуха, выходящего из подозреваемого в наличии очага самовозгорания участка, возрастает, хотя сухой термометр показывает в этот же период даже некоторое снижение температуры.

Так называемый потенциометрический метод состоит в измерении электрических потенциалов, возникающих в породах под влиянием действующего очага пожара.

Эти потенциалы могут быть вызваны разностью температур в породах и протеканием окислительных процессов.

Измеряют естественные электрические поля - спонтанные потенциалы ПС и поляризационные потенциалы ПП.

В первом случае измеряется разность потенциалов между двумя электродами, расположенными на поверхности или в скважинах. Во втором случае через те же электроды пропускают сильный ток, который поляризует контакты между разными породами и углем (или рудой). После размыкания этого тока измеряют ток поляризации, имеющий обратное направление.

В температурных пределах, представляющих наибольший интерес для распознавания начинающегося самонагрева (10-100 °С), ПС и ПП с повышением температуры изменяются. При этом изменение потенциала в границах действия электрического поля является величиной относительной и выражается в процентах от начального значения потенциала в точке наблюдения.

#### **2.4. Газодинамические явления**

К сложнейшим природно-технологическим явлениям на угольных шахтах относятся явления выбросов горных пород и газа. Это одна из форм силовых явлений, а именно газосиловое (газодинамическое) явление (ГДЯ), в котором участвуют упругие силы предельно напряженных горных пород, сжатого газа и силы тяжести.

В угольной промышленности Украины удельный вес выбросов породы, угля и газа в смертельном травматизме горняков составляет около 3 %. За последние 5 лет (2006-2010 г.г.) на шахтах МУП Украины произошло 14 внезапных выбросов горных пород и газа, что в среднем составляет 3 выброса в год (табл. 2.1).

Понятие категории «внезапные» исторически заимствовано и связано с первыми неожиданными и необычными по своей природе явлениями – фактически внезапными выбросами угля и газа, которые у специалистов Бельгии, Германии, России, Франции и других стран до 1948 года характеризовались как внезапные выделения газа.

В настоящее время, несмотря на принятую нормативную терминологию, необходимо четко выделять категорию внезапных газодинамических явлений, под которой следует понимать, что возникновение данного ГДЯ является неожиданным и не допускается технологией ведения горных работ, так как практически всегда сопровождается тяжелыми последствиями для работающих в шахте людей. Наиболее же многочисленные выбросы угля и газа при производстве сотрясательного взрывания, безлюдной выемке угля, дистанционном бурении скважин и т. п. фактически не относятся к категории внезапных, так как возможность их возникновения предусматривается (допускается) технологией ведения работ. Эти выбросы породы, угля и газа, особенно многочисленные выбросы при сотрясательном взрывании, сдерживают темпы ведения горных работ, приводят к материальным потерям и затратам на ликвидацию последствий. Они связа-

ны с осложнениями и ухудшением безопасности труда горняков при переходе полостей выбросов и др., но при соблюдении предусмотренного технологического режима не приводят (или не должны приводить) к производственному травматизму.

ГДЯ обусловлены изменением напряжённо-деформированного и газодинамического состояния угольных пластов и вмещающих пород при ведении горных работ, наличием в пластах и породах газа, особенностями структуры и физико-механических свойств угля и пород и отличаются между собой степенью участия перечисленных факторов в подготовке и протекании явлений. Каждый из этих факторов, в свою очередь, зависит от множества других, менее значимых факторов. Их можно подразделить на природные, влияющие на предрасположенность пласта (пород) к газодинамическим явлениям, технологические, которые отражают изменение напряженного и газодинамического состояния призабойной части пласта (пород) в процессе его разработки и геомеханические, характеризующие изменение напряженно-деформированного и газодинамического состояния угленосной толщи в зависимости от пространственно-временных соотношений развития горных работ на разрабатываемом и соседних пластах.

Такое сочетание перечисленных факторов обуславливает разнообразие ГДЯ, к которым согласно «Инструкции по безопасному ведению горных работ на пластах, опасных по внезапным выбросам угля, породы и газа» относятся внезапные выбросы угля и газа (выдавливания угля); внезапные обрушения угля с попутным газовыделением; внезапные выбросы породы и газа. В «Инструкции...» внезапные выбросы угля и газа также подразделяются на выбросы угля и газа, происшедшие впервые на шахтопластах ранее считавшиеся неопасными; выбросы угля и газа, происшедшие на выбросоопасных шахтопластах, на которых предусмотрено применение прогноза или способа предотвращения выбросов; выбросы угля и газа, происшедшие при производстве сотрясательного взрывания; выбросы угля и газа, происшедшие при выемке угля механизмами с дистанционным управлением; внезапные выдавливания угля с повышенным газовыделением.

Дополнительно к «Инструкции...» в классификационный перечень ГДЯ отраслевых «Методических указаний по расследованию и технической экспертизе газодинамических явлений на шахтах Дон-

басса» добавлены относительно редко происходящие на шахтах Донбасса горные удары и внезапные прорывы газа из почвы выработки.

В этом плане, следует также отметить на некоторую условность понятия внезапные выбросы породы и газа, так как до настоящего времени все выбросы песчаников и газа на шахтах Донбасса происходили только при взрывных работах в режиме сотрясательного взрывания и не сопровождалась травматизмом.

Группу ГДЯ, отнесенных согласно «Инструкции...» к категории внезапных выбросов угля и газа, а также выбросы пород и газа объединяет одинаковый (при выдавливании угля во многом схожий) саморазвивающийся механизм разрушения. По этой причине внезапные обрушения угля не относятся к этой группе, так как основной причиной обрушения (высыпания) угля является несвоевременное или некачественное крепление нависающего газоносного угольного массива.

С некоторой корректировкой формулировки ГДЯ, приведенной в «Инструкции...», внезапный выброс угля и газа можно определить как быстропротекающее разрушение призабойной части пласта, которое возникает при перераспределении в ней напряжений, распространяющееся от забоя выработки (скважины) в глубину массива и сопровождающееся отбросом (выбросом), иногда на сотни метров, разгруженного до тонких фракций угля, как правило, содержащих так называемую «бешеную муку», повышенным, по сравнению с обычным газовыделением и образованием в угольном пласте полосей нередко причудливой формы.

Выбросы угля и газа происходят при проходке стволов, вскрытии и пересечении угольных пластов полевыми выработками, в забоях пластовых подготовительных выработок и очистных забоях.

Следует четко уяснить, что в реально выбросоопасных зонах, обусловленных локальной природой выбросоопасности, выброс угля и газа может произойти при любом воздействии на угольный пласт за пределами (границей) разгруженной и дегазированной призабойной части пласта. По этой причине наиболее высока вероятность возникновения выброса угля и газа при взрывной отбойке угля (сотрясательном взрывании), а также после сотрясательного взрывания при уборке угля и возможном оформлении забоя даже металлической лопатой (что категорически запрещается), при вскрытии пласта, бурении скважин большого диаметра, при широкозахватной или интен-

сивной выемке угля (например, при струговой выемке пласта отдельными участками и интенсивному внедрению в пласт), при оформлении (перерезке) углов (кутков) забоя подготовительных выработок, ниши лав пологих и уступов лав крутых пластов.

Практика показывает, что реально выбросоопасные зоны составляют 1-5% площади шахтопласта. В большинстве случаев выбросоопасные зоны приурочены к так называемым активным геологическим нарушениям с тектонически препарированным углем. Выбросоопасность этих зон возрастает в зонах повышенного горного давления (ПГД) от ведения горных работ на соседних пластах.

Возникновению выброса угля и газа сопутствует обычно воздушный толчок, а протекание его происходит во времени с ориентировочной скоростью разрушения угля примерно 5 т/с. Количество разрушенного и выброшенного угля при выбросе угля и газа оценивается в тоннах и характеризует интенсивность или так называемую силу выброса. Интенсивность (сила) выброса угля и газа изменяется в среднем от 0,5 т до 100-60 т и достигает в лавах 2000 т, - в подготовительных выработках 1600 т. С наибольшей интенсивностью происходят выбросы угля и газа при вскрытии пластов.

Последствия выброса угля и газа во многом зависят от его интенсивности. Под действием распространяющегося газо-угольного потока возможно повреждение и вынос крепи выработок, отброс и деформация вагонеток, перемещение выемочного и проходческого оборудования и др. Выброшенным углем может быть засыпано до нескольких сот метров выработки. При этом часть выработки может быть заполнена практически на полное сечение, в остальной ее части уголь располагается на расстоянии и под углом меньше чем возможное его размещение под углом естественного откоса. Возможно опрокидывание вентиляционной струи и загазирование воздухоподающих выработок. Наличие тонкодисперсной угольной пыли, исторически получившее название «бешенная мука», обусловлено спецификой протекания выброса - послойным разрушением угля и «перетиранием» частиц разрушенного угля в газо-угольном потоке. Отложение на откосе выброшенного угля, крепи, оборудования и т. п. витающей тонкодисперсной угольной пыли (слоем до 1 см) является характерным признаком выброса угля и газа. Характерным признаком выброса угля и газа является образование в угольном пласте полости, как правило, «причудливой» формы.

При выбросах угля и газа наиболее выражены поражающие факторы и последствия газодинамических явлений. Поражающими факторами являются механическое воздействие разрушенного угля, иногда воздушная ударная волна и, главное, удушающее действие выделяющегося газа - гипоксия или кислородное голодание клеток головного мозга при снижении содержания кислорода ниже 16% вследствие замещения кислорода воздуха метаном.

Внезапные выдавливания (отжимы) угля с повышенным газовыделением происходят в основном при механизированной выемке угля в лавах пологих пластов. Классификация внезапного выдавливания в большинстве случаев не вызывает затруднений. В отличие от выброса угля и газа при выдавливании угля полость ориентирована примерно параллельно линии очистного забоя и глубина ее незначительна (она, как правило, всегда меньше длины и ширины). Выдавливание, так же как и выброс, сопровождается изменением напряженно-деформированного состояния призабойной части пласта. Поэтому выброс небольшой силы при механизированной выемке угля в лаве может привести к выдавливанию угля и, наоборот, выдавливание может сопровождаться выбросом небольшой силы.

При квалификации газодинамических явлений в подготовительной выработке пологого пласта осложнения обычно не возникают, полости, как правило, выходят за проектный контур стенки выработки.

Принципиальное значение имеет классификация внезапных обрушений (высыпаний) угля на шахтах Центрального района Донбасса, так как неоправданное применение противовыбросных мероприятий может наоборот способствовать склонности пласта к обрушению. Основными отличительными признаками обрушения угля являются ориентация полости в направлении восстания пласта (при этом ширина полости в направлении простирания пласта примерно равна глубине выемки, т. е. 1-2 м) и расположение угля под углом близким к углу естественного откоса. Количественным критерием отнесения газодинамического явления к выбросу или обрушению может быть принято отношение длины выработки  $L_{\text{п}}$ , заполненное углем на полное сечение к общей длине отброса  $L_{\text{о}}$ , т. е.

$$B_{\Gamma} = L_{\text{п}} / L_{\text{о}}. \quad (2.14)$$

В случае  $V_r \geq 0,3$  газодинамическое явление следует классифицировать как выброс угля и газа, при  $V_r < 0,3$  – как обрушение.

Выбросы породы и газа происходят при вскрытии, пересечении или проведении подготовительных выработок по выбросоопасным песчаникам (слоям песчаников) и представляют собой, прежде всего технико-экономическую проблему, связанную с затратами на ликвидацию последствий выбросов и сдерживания темпов проведения выработок. Сила выбросов песчаника может изменяться в среднем от 100 т в песчаниках низкой степени опасности до 500 т в песчаниках высокой степени опасности. Технология перехода полостей выбросов предусматривает уборку выброшенной горной массы, возведение, как правило, монолитной железобетонной крепи, перекрывающей полость выброса с последующим тампонажем полости песчано-цементным составом.

По мнению некоторых специалистов к ГДЯ следует относить также суфлярные выделения метана, которые по признаку генезиса трещин подразделяются на суфляры геологического и эксплуатационного происхождения. К первым относятся суфляры, при которых газовыделение происходит из трещин и пустот, образовавшихся в результате различных геологических процессов. Ко вторым относятся выделения газа, вызванные перераспределением напряжений в связи с ведением горных работ. Как правило, суфляры эксплуатационного происхождения приурочены к отдельным пластам, а суфляры геологического происхождения распространяются на все угольные пласты в пределах шахтного поля.

Структура газодинамических явлений на шахтах Донбасса за последние годы приведена в таблице 2.16, из которой следует, что проблема газодинамических явлений фактически сводится к решению проблемы выбросов угля и газа уже более 170 лет решаемой в мировой и отечественной науке и практике угледобычи и в определенной степени выбросам породы и газа.

Все указанные ГДЯ явления отнесены к категории внезапных, так как возможность их возникновения не допускается технологией ведения горных работ и практически всегда сопровождается тяжелыми последствиями. Вместе тем наиболее многочисленные выбросы угля и газа при производстве сотрясательного взрывания, при дистанционной (безлюдной) выемке угля, бурения скважин и т. п. фактически не относятся к категории внезапных, так возможность их

возникновения предусматривается технологией ведения работ. На эти выбросы угля и газа, если вследствие каких-либо нарушений не застигнуты люди, подразделения ГВГСС не вызываются. В этом плане следует также отметить на некоторую условность понятия внезапные выбросы породы и газа. До настоящего времени все выбросы песчаников и газа на шахтах Донбасса происходили только при взрывных работах в режиме сотрясательного и не сопровождались травматизмом.

Таблица 2.16 – Структура газодинамических явлений на шахтах Донбасса

Газодинамические явления	Удельный вес числа газодинамических явлений, %
Внезапные выбросы угля и газа	2,7
Внезапные обрушения угля и газа с повышенным газовыделением	3,2
Внезапные выдавливания угля с повышенным газовыделением	4,3
Выбросы угля и газа при дистанционном управлении	12,3
Выбросы угля и газа при сотрясательном взрывании по углю	59,3
Выбросы породы (песчаника) угля и газа при сотрясательном взрывании	18,2

Максимальная сила (интенсивность) выбросов в лавах достигает 2000 т, в подготовительных выработках 1600 т, во вскрывающих выработках - до 14000 т.

При газодинамических явлениях поражающими факторами являются механическое воздействие разрушенного угля, ударная волна и, главное, аноксемия – кислородное голодание клеток головного мозга при снижении содержания кислорода ниже 16% вследствие замещения кислорода воздуха метаном.

Следует отметить, что в классификационный перечень газодинамических явлений отраслевых «Методических указаний по расследованию и технической экспертизе газодинамических явлений на шахтах Донбасса» добавлены редко происходящие горные удары и внезапные прорывы газа из почвы выработки.

При ГДЯ и ликвидации их последствий возможны следующие осложнения: опрокидывание вентиляционной струи и стойкое загазирование горных выработок вследствие выделения большого количества метана и (или) перекрытия выброшенным углем сечения выработки; последующий после выброса взрыв метановоздушной смеси при наличии источника воспламенения (электроток, взрывные работы и др.); самовозгорание разрушенного угля и возможный, по этой и другим причинам, взрыв метановоздушной смеси при ликвидации последствий выброса; обрушение пород кровли пласта в полости выброса.

Развитие выброса происходит внешне в форме лавинообразного смещения, дробления горных пород (угля, соли, песчаника, руд) и выноса раздробленной массы выделяющимся газом ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{H}_2$ ) в атмосферу горных выработок, сопровождающегося сильными звуковыми колебаниями.

К ГДЯ относятся собственно выбросы угля, соли, пород, руды, обрушения пород с усиленным газовыделением, прорывы газа, выбросы газа с выносом угольной мелочи и горные удары с выделением газа.

Первый выброс угля и газа был зарегистрирован в 1834 году во Франции на шахте «Исаак» бассейна Лауры. Затем они стали происходить в Бельгии, Германии, Великобритании, Венгрии и Канаде. В Украине первый выброс угля и газа впервые был зарегистрирован в Донбассе 9 сентября 1906 г. на шахте «Новая Смолянка» при вскрытии квершлагом пласта Смоляниновского на глубине 711 м.

В настоящее время в СНГ разрабатывается более 650 выбросоопасных и угрожаемых по выбросам шахтопластов. Из года в год увеличивается удельный вес сверхкатегорных по газообильности шахт и шахт, разрабатывающих пласты, опасные по внезапным выбросам угля и газа.

Выбросы происходят в Донецком, Кузнецком, Карагандинском бассейнах, на Воркутинском, Егоршинском месторождениях, месторождениях Дальнего Востока.

Выбросы угля и газа в Европе распространены на угольных месторождениях Франции и Бельгии, где наиболее выбросоопасные шахты закрыты; меньшее распространение выбросы имеют на месторождениях Болгарии и Чехословакии (по 100-120 выбросов в год). Эти опасные явления происходят также в шахтах Великобритании,

Канады, Японии, КНР и Австралии. Выбросы в калийных рудниках регулярно происходят с 1895 г. Выбросы соли, породы и газа наблюдаются на Верхнекамском и Старобинском калийных месторождениях.

О масштабах проблемы выбросов угля и газа в период послевоенного восстановления и интенсивного развития Донбасса, а также о потенциальной опасности его отдельных геолого-промышленных районов свидетельствуют данные табл. 2.17.

Таблица 2.17 – Сведения о выбросах угля и газа в Донецком бассейне в 1946-1987 г.

Наименование геолого-промышленных районов	Число внезапных выбросов	Число выбросов при взрывных работах	Всего
Центральный	894	333	1227
Донецко-Макеевский	305	1978	2283
Селезневский	107	67	174
Алмазно-Марьевский	28	28	56
Краснодонский	22	46	66
Торезкий	68	364	452
Хрустальский	65	161	226
Белокалитвенский	44	34	78
Каменский	32	62	94

В эти и последующие годы над проблемой выбросов активно работали практически все отраслевые научно-исследовательские и проектно-конструкторские институты, многие лаборатории академических и кафедры учебных институтов.

Газодинамические явления стали происходить тогда, когда горная наука в познании закономерностей поведения продуктивной толщи при подземной добыче твердых полезных ископаемых не была готова к их преодолению как по предсказанию, так и по управляющему воздействию. Такое положение привело к рождению целого ряда качественных предположений (гипотез), в которых делались попытки объяснить природу и механизм выброса.

Наибольший вклад в изучение этого вопроса внесли отечественные и зарубежные ученые: Н. Н. Черницын, Н. П. Соловьев, Л. Д. Шевяков, А. А. Скочинский, В. Б. Комаров, В. Л. Биленко, Л. Н. Быков, И. М. Печук, С. Г. Авершин, А. М. Карпов, В. И. Белов, Г. А. Коньков, В. В. Владимирский, И. В. Бобров, В. Л. Божко, В. В. Хо-

дот, В. А. Шатилов, О. И. Чернов, В. Н. Пузырев, А. Е. Ольховиченко, Н. М. Проскураков, А. Э. Петросян и др.

Кроме собственно выбросов выделяют еще выдавливание угля (соли) и обрушения (высыпания) с повышенным газовыделением, а также выбросы при взрывных работах. При выдавливании образуется полость глубиной менее ее ширины, горная масса смещена незначительно, занимает полость часто со щелью под кровлей, заполненной тонкой пылью, повышено газовыделение.

Обрушение (высыпание) – разрушение нависающего массива из-за несвоевременного или некачественного крепления; ось полости ориентирована по восстанию пласта. Выбросы угля при взрывах отличий не имеют - выделение их имеет организационную причину, персонал заранее удаляют на безопасное расстояние.

Выбросы пород и соли при взрывах характеризуются разрушением массива за пределом действия ВВ, отбросом пород и выделением газа. Склонные к выбросам шахтопласты разделяются на выбросоопасные и угрожаемые.

Иногда выделяют особо выбросоопасные шахтопласты или участки пласта.

К выбросоопасным относят шахтопласты в пределах шахтного поля ниже вентиляционного штрека того горизонта, где произошел выброс, а к угрожаемым - где были выдавливания или обрушения, а также где предсказана опасная зона.

В склонных к выбросам пластах по данным текущего прогноза в действующих забоях выделяют опасные и неопасные участки.

#### **2.4.1. Особенности проявления внезапных выбросов горных пород и газа в различных природно-технологических условиях**

Сложность и многообразие внешних форм проявления выбросов горных пород и газа затрудняют изучение и разработку мер предотвращения этого явления. Сложность связана еще и с тем, что две силы, вызывающие явление - напряжения горных пород и пластовое давление газа (жидкостей), - прямо не измеряются.

О напряжениях судят по величине деформаций и смещений. Трудность измерения пластового давления заключается в том, что в условиях активно сдвигающегося массива трудно получить качественную герметизацию скважины и в то же время требуется длитель-

ное время наблюдений вследствие крайне низкой проницаемости горных пород и, в частности, выбросоопасных пластов. Указанные обстоятельства привели к отсутствию до сих пор количественных показателей и соотношений сил, участвующих в явлении.

Методы измерений устойчивости и прочности горного массива как единого целого также не обеспечивают получения данных со степенью точности, необходимой для разработки теоретических соотношений, позволяющих предсказывать ход событий в зависимости от горно-геологических условий.

Изложенная выше обстановка породила и порождает до сих пор многочисленные мнения и высказывания о природе и значимости сил, вызывающих выброс горной породы и газа, а также необходимость их краткого рассмотрения.

Первое обобщение характеристик метановыделений в угольных шахтах и разделение их на обычные суфлярные и внезапные сделано в 1917 г. Н. Н. Черницыным.

Характеризуя выбросы («внезапные выделения»), Н. Н. Черницын указывает на приуроченность их к сбросам, сдвигам пласта, его нарушениям и утонениям, местам, где наблюдалось очень большое давление пород, и глубинам более 250 м.

Выбросоопасными свойствами считались высокая твердость и пористость, а также низкая проницаемость угля для газа.

Российский ученый А. А. Скочинский в 1954 г. обобщил ранее высказанные положения о том, что выбросы обусловлены взаимодействием сил горного давления (напряжений), газа, заключенного в угольном пласте, физико-химическими свойствами угля и строением угольного пласта, а при крутом падении - и силой тяжести угля. Первую попытку увязать количественным соотношением энергию выброса или горного удара сделал С. Г. Авершин.

Силы газа, заключенного в продуктивной толще, - пластовое давление измеряют в загерметизированных скважинах и шпурах. Распределение давления с глубиной изображено на рис. 2.27.

Л. Н. Быковым было показано, что в соляных и угольных месторождениях пластовое давление нарастает с глубиной в среднем по гидростатическому закону. Однако имеются значительные отклонения от гидростатического закона. В зонах дренажа пластовое давление значительно ниже гидростатического. В то же время имеются области, в которых пластовое давление находится на уровне геостати-

ческого и даже выше. В последнем случае говорят об аномально высоком пластовом давлении (АВПД). Области АВПД возникают по двум причинам:

- тектоническое сжатие продуктивной толщи, обычно осложненное сейсмическими колебаниями, ускоряющими генерацию газов органическим материалом;
- прорыв газов из нижележащих зон осадочного чехла, мантии.

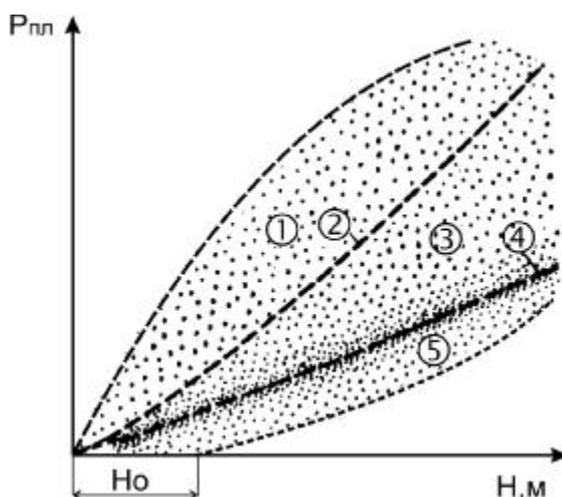


Рис. 2.27. График нарастания пластового давления  $P_{пл}$  в зависимости от глубины  $H$ :  $H_0$  — зона выветривания; 1 — область АВПД; 2 — геостатическая кривая; 3 — область повышенного давления; 4 — гидростатическая зависимость; 5 — область дренирования толщи

В ряде районов Донбасса установлены пластовые давления на уровне геостатического и выше. В нефтегазовых провинциях АВПД наблюдаются систематически. Низкая проницаемость пород способствует сохранению областей АВПД.

Очевидно, что для предсказания выбросоопасности необходимо, прежде всего, измерять пластовое давление во всех геологоразведочных скважинах на шахтном поле.

Вопрос о распределении напряжений в скелете горных пород (горном давлении), слагающих продуктивную толщу, более сложный.

Г. А. Коньков указал на наличие молодых тектонических движений в Донбассе и связанных с ними напряжений, не подчиняющихся геостатической закономерности. Работами Г. А. Конькова, И. А. Турчанинова, Н. Хаста и др. доказано, что естественное горное давление

$P_e \neq \gamma H$  ( $\gamma$  — удельный вес горных пород;  $H$  — глубина), хотя и наблюдается общее нарастание давления с глубиной. Однако в отличие

от пластового давления здесь на значительных глубинах возможны области растягивающих сил и тангенциальных напряжений.

Современный уровень науки о горном давлении не позволяет вычислять его по геологическим и внешним термодинамическим показателям. Необходимо в каждом случае проводить измерения.

На естественное поле напряжений и пластового давления в толще накладываются возмущения, вызываемые ведением горных работ. Это наложение и создает горно-геологическое силовое явление.

При движении забоя перераспределяются как силы, определяющие состояние призабойной зоны, - пластовое давление  $P_{пл}$  и напряжение в горных породах  $P$ , так и свойства пород - проницаемость  $K$  и пористость  $m$  (рис. 2.28).

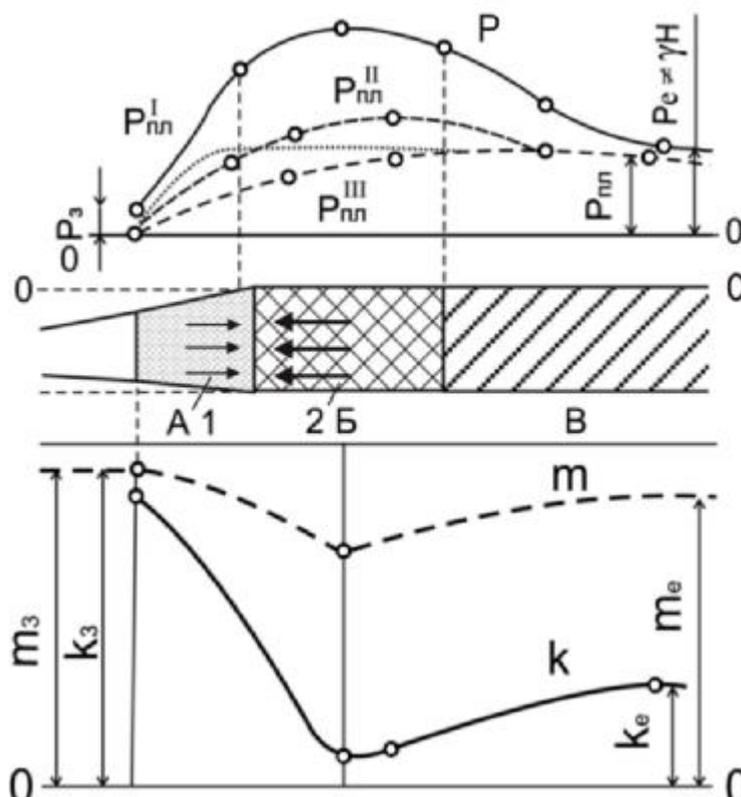


Рис. 2.28. Схема распределения напряжения  $P$ , пластового давления газа  $P_{пл}$ ,  $P'_{пл}$ ,  $P''_{пл}$ ,  $P'''_{пл}$ , проницаемости  $K$  и пористости  $m$  в призабойной зоне пласта:  $P_з$ ,  $K_з$ ,  $m_з$ ,  $P_e$ ,  $K_e$ ,  $m_e$  – показатели состояния и свойств пласта соответственно на кромке обнажения и в естественном состоянии; А, Б и В – участки соответственно хрупко пластического деформирования, упругопластического деформирования и упругого напряжения; 1 и 2 – направления соответственно волны напряжений и пластических деформаций

Особенно сильно меняются  $P$  и  $K$ . Изменение  $P$  наблюдается даже визуально. Изменение проницаемости не так очевидно. Однако

следует учесть, что при росте сжимающих напряжений, в первую очередь в горных породах, смыкаются наиболее широкие трещины. Проницаемость трещины ( $m^2$ ) пропорциональна квадрату ее раскрытия (зияния)  $B$ :  $K_{отр} = B^2/12$ .

При общей проницаемости угольных и соляных пластов, измеряемой тысячными долями  $m^2$ , смыкание одной трещины раскрытием 0,1 мм на 1 м мощности пласта означает снижение проницаемости пласта более чем в 100 раз. Вследствие «надвигания» (накатывания) вместе с забоем области низкой проницаемости на массив пластовое давление в некоторых случаях  $P''_{пл}, P'''_{пл}$  может быть выше естественного  $P_{пл}$  (см. рис. 2.28).

По данным многих исследований, концентрация напряжений в призабойной зоне:  $P = [(1,2...6,0)...(1,9...7)] P_e$ .

В среднем  $P = (2,4...3,5)P_e$  или  $P \approx 3P_e$ .

Данные о распределении пластового давления также противоречивы. По данным МГИ, при скорости подвигания очистного забоя

$$v = 30...60 \text{ м/мес} \quad P'_{пл} \approx (1,0...1,6)P_{пл}.$$

В ряде случаев  $P''_{пл} < P_{пл}$ , что связано с трещинообразованием в призабойном массиве.

Величины изменений состояния ( $P$  и  $P_{пл}$ ) и свойств ( $K$  и  $m$ ) горных пород в призабойной зоне зависят от масштаба вносимого возмущения - вынимаемой мощности, площади сечения, пролета выработки и скорости подвигания забоя. По наблюдениям на шахтах Донбасса, например, отмечен рост числа выбросов угля и газа с ростом диаметра опережающих скважин (рис. 2.29).

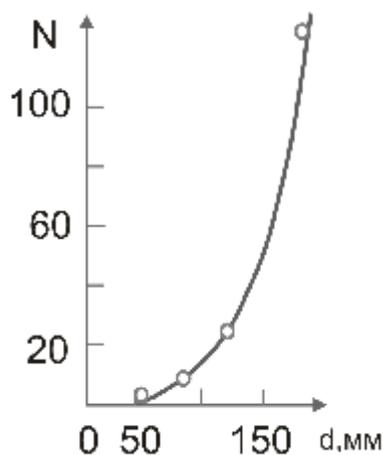


Рис. 2.29. График зависимости числа выбросов  $N$  от диаметра скважин  $d$ .

Скорость подвигания забоя - решающий фактор в концентрации напряжений и создании выбросоопасной обстановки. Релаксация напряжений в толще пород происходит с определенной скоростью, определяемой свойствами и состоянием последних (см. рис. 2.28). Рост скорости подвигания забоя  $v$  приводит к суммарному росту выбросных сил  $\Sigma F$  в призабойной зоне.

На рис.2.30 показана схема формирования этих сил.

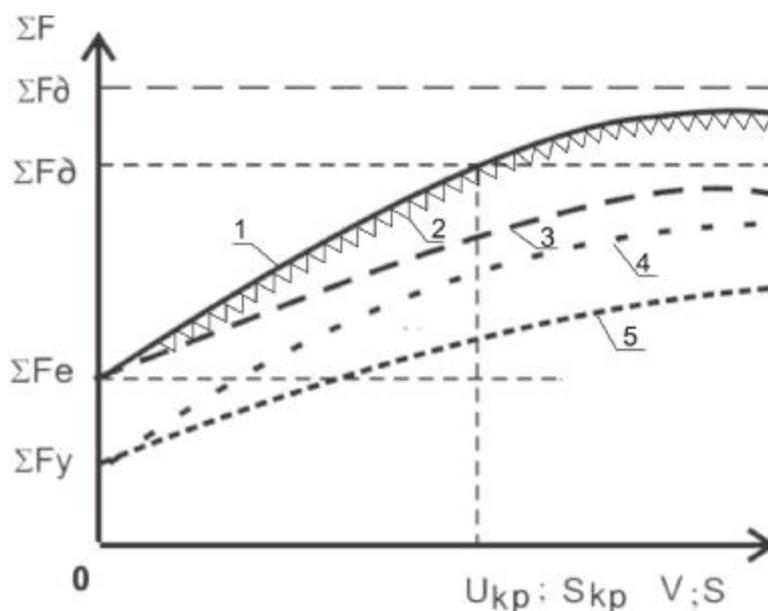


Рис. 2.30. Графическое изображение суммарного нарастания сил напряжений в скелете пласта и пластового давления в призабойной зоне  $\Sigma F$  в зависимости от увеличения скорости подвигания забоя  $v$  и площади поперечного сечения (пролета) выработки  $S$ : 1 – результирующая сила; 2 – частные акты суммарного нарастания сил при частных подвиганиях забоя; 3 – нарастание сил после управляющего воздействия на свойства пород; 4 – то же, на состояние пород; 5 – то же, на свойства и состояние пород;  $\Sigma F_y$  – уровень сил после управляющего воздействия на состояние пород (пласта);  $\Sigma F_e$  – естественный уровень сил;  $\Sigma F_d$  – предельный уровень нарастания сил, при достижении которого происходит разрушение пород (удар, выброс);  $\Sigma F'_d$  – то же, после управляющего воздействия на свойства и состояние толщи пород;  $S_{кр}$ ,  $v_{кр}$  – критические соответственно сечение и скорость подвигания забоя

При быстром разрушении массива, особенно при выбросе, как показал Л.Н. Быков, происходит послойный отрыв пород от массива с выходом оторванного слоя из зажима и, следовательно, силы трения не принимают участия в этом явлении. При выдавливании учет сил трения (зажима) необходим.

Предотвращение газосиловых явлений, кроме снижения скорости, что является крайне вынужденной мерой, и масштаба возмущения, возможно путем:

- повышения устойчивости массива (на схеме рис. 2.30) до уровня  $\Sigma F_a$ ), например, путем укрепления смолами;

- снижения уровня природных сил  $\Sigma F_0$  с помощью управляющего воздействия на продуктивную толщу для снижения напряжений  $P_e$  и пластового давления  $P_{пл}$  за счет, например, отработки защитного пласта и дегазации;

- управления свойствами (пластичностью, проницаемостью и пористостью) пород в направлении снижения способности концентрации напряжений и пластового давления (кривые 3 и 5 на рис. 2.30); использования сил тяготения.

Наибольший эффект достигается при управлении как состоянием ( $P_e$ ,  $P_{пл}$ ), так и свойствами пород.

Особенности механизма выбросов пород и газа состоят в том, что выбросоопасные зоны песчаников отличаются низкой прочностью и высокой газоносностью - 0,31- 3,0 м<sup>3</sup>/т по сравнению с 0,05-0,7 м<sup>3</sup>/т в неопасных зонах. Метаноемкость выбросоопасных песчаников в 2-5 раз выше, значительно выше и сорбционная метаноемкость. При взрыве таких песчаников на отбой возникает процесс хрупкого послойного самоподдерживающегося разрушения с перемещением разрушенной массы в выработку. При встрече прочного прослоя процесс выброса затухает.

Особенности выбросов соляных пород и газа состоят в том, что:

- соляные породы в выбросоопасных зонах высокопористы (5-10 %), малопрочны при растяжении и высокогазоносны;

- выбросоопасные зоны характеризуются высоким пластовым давлением ( $P_{пл} = 6...8$  МПа);

- соляные породы разрушаются до пылеобразного состояния, и стенки полости выброса разбиты характерной трещиноватостью, свидетельствующей о послойном отрыве;

- после выброса соли (особенно карналлита) понижается температура воздуха в выработке;

- глубина залегания выбросоопасных калийных пластов составляет 300-900 м.

Предусматриваются следующие мероприятия безопасности при разработке пластов, склонных к проявлению выбросов горных пород (угля) и газа:

- предсказание (прогноз) выбросоопасности;
- снижение выбросоопасности продуктивной толщи (пластов);
- предотвращение выбросов при ведении горных работ;
- обеспечение безопасности персонала при выбросах.

#### **2.4.2. Современные представления о природе и механизме выбросов угля и газа**

Теории (гипотезы) выбросов угля и газа следует рассматривать как совокупность знаний природы формирования выбросоопасности и механизма возникновения и протекания выбросов. Знания о природе выбросоопасности являются собой научную основу разработки способов прогноза выбросоопасности, а знания о механизме возникновения и протекания выбросов - научную основу создания способов предотвращения выбросов.

На третьей Всесоюзной конференции по борьбе с внезапными выбросами в 1955 году российский ученый академик А.А. Скочинский предложил концепцию, согласно которой три фактора в совокупности обуславливают формирование выбросоопасности

$$A = f(\sigma, \chi, M), \quad (2.15)$$

где  $\sigma$  - напряженность пласта;  $\chi$  – газоносность пласта;  $M$  – физико-механические свойства угля.

Позже в докладе МакНИИ (В.И. Николин) на международном симпозиуме по выбросам угля (породы) и газа (г. Донецк, 1974 г) предложено было считать, что два фактора в совокупности горное давление и физико-механические свойства газоносного пласта формируют потенциальную выбросоопасность. Дальнейшие совместные исследования МакНИИ и ДПИ (ДонНГУ) позволили разработать физическую модель выбросоопасного пласта, которая наряду с установленными закономерностями связи выбросоопасности шахтопластов со степенью метаморфизма углей, обоснования единства механизма выбросов угля, породы и газа и составляют основу современных

представлений о природе формирования выбросоопасности и механизме возникновения и протекания выбросов.

Первоначально физическая модель содержала представление о том, что выбросоопасный угольный пласт - это трещиновато-пористое тело, отдельные структурные блоки которого газонепроницаемы и способны увеличиваться в объёме при увеличении содержания метана (углекислого газа, высших углеводородов и др.). Метан рассматривался как источник дополнительных (внутренних) напряжений или как фактор, обуславливающий такое изменение деформационных свойств газоносного угольного массива, которое существенно увеличивает склонность (способность) его к разрушению при разгрузке.

В дальнейшем были выполнены исследования, направленные не столько на уточнение ранее разработанной физической модели выбросоопасного пласта, сколько на выяснение положений, которые помогли бы понять причины как нулевой проницаемости выбросоопасного массива, локальности выбросоопасности, так и влияния метана на деформационные свойства угольного пласта, его повышенную склонность к разрушению при разгрузке.

Экспериментально было доказано, что аналитическая (материнская) влажность угля в реально выбросоопасных зонах в два раза превосходит аналитическую влажность угля невыбросоопасных зон, т. е. чтобы зона стала выбросоопасной, нужна не только более высокая природная газоносность, но и более высокая материнская влажность угля. На основании результатов экспериментального изучения свойств воды, находящейся в капиллярах (ячейках) размером (диаметром) менее  $10^{-7}$  м был сделан вывод, что, локальность проявления выбросов может быть объяснена с позиций представления состояния метана квазитвёрдым.

Особенностью молекулы воды, отличающую её от всех других твёрдых тел и жидкостей, заключаются в дипольности ее молекул. Вода и метан, находящиеся в капиллярах (ячейках) размером (диаметром) менее  $10^{-7}$ , образуют под действием Ван-дер-Ваальсовых сил на поверхности капилляра молекулярные слои – на стенках вода, внутри метан. Микрополости превращают воду в твердое тело с совершенно аномальными свойствами по сравнению со свойствами воды в макроусловиях. Такая физическая модель выбросоопасного пласта, во-первых, позволяет объяснить локальность выбросоопасности.

Молекулы метана, оказавшиеся в «плёну» аномально жёстких дипольных молекул воды, не смогут уравнивать природную газоносность. Во-вторых, она объясняет изменение деформационных характеристик угольного выбросоопасного массива при изменении водо-метаноносности, приводящее к охрупчиванию при разрушении от разгрузки, вследствие увеличения склонности к разрушению от деформаций упругого восстановления, последействия и обратной ползучести, являющихся по своей сущности деформациями растяжения. В третьих, такая трактовка физической модели хорошо объясняет инструментально установленные задержки деформаций (сближения пород почвы и кровли пластов) в лавах крутых пластов перед выбросами.

Первые доказательства зависимости выбросоопасности от степени метаморфизма углей ( $V^{daf}$ , %) основывались на анализе статистических данных и потребовали вскрытия природной сущности этой зависимости.

Графическое представление закономерности связи выбросоопасности со степенью метаморфизма углей показано на рис. 2.31.

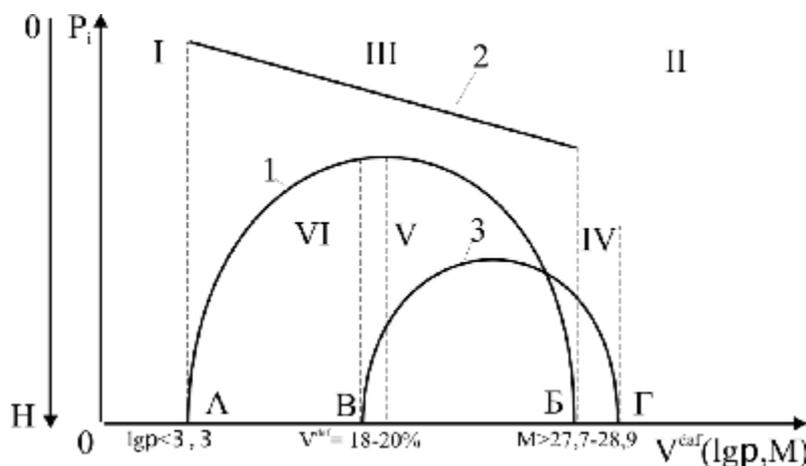


Рис.2.31. Графики зависимости от степени метаморфизма углей выбросоопасности угольных пластов 1, минимальной глубины первых выбросов 2 и выбросоопасности пластов (слоев) песчаников 3:

$P_i$  - вероятность возникновения выбросов угля и песчаников;  $H$  - глубина разработки;  $V^{daf}(\lg p, M)$  - показатели степени метаморфизма углей

Изучение физической сущности зависимости глубины первых выбросов от степени метаморфизма углей позволило установить, что она определяется глубиной зоны газового выветривания. Чем выше степень метаморфизма углей, тем более прочны и менее пористы породы, их вмещающие, а потому меньше глубина зоны газового вы-

ветривания, следовательно, глубина, на которой могут происходить первые выбросы.

Природное формирование выбросоопасности угольных пластов закономерно, в параболической зависимости определяется степенью метаморфизма углей. Это доказывается совпадением максимальной вероятности возникновения выбросов соответствующей  $V^{daf} = 20\%$  с максимальными (минимальными) значениями основных свойств угля: минимум прочности и пористости углей приходится на  $V^{daf} = 20-24\%$ ; максимум природной газоносности, отнесенной к объёму пор, приходится на  $V^{daf} = 20\%$ ; максимальное давление газа выбросоопасных угольных пластов и максимальное содержание высших углеводородов в составе газов пластов приходится на  $V^{daf} = 22\%$ .

Рост, а затем, при достижении области  $V^{daf} = 20\%$ , снижение вероятности возникновения выбросов при разработке выбросоопасных пластов объясняется тем, что физико-химические превращения органических веществ сопровождаются генерированием метана и его гомологов до области  $V^{daf} \approx 19-21\%$ . В дальнейшем, по мере роста степени метаморфизма углей, метан и его гомологи не генерируются, а «расходятся». Их физико-химическое взаимодействие с углем (органикой и неорганическими соединениями) при наличии материнской влаги, приводит к росту пористости. При этом каменный уголь марок Ж и К из низкопористого и малопрочного превращается в прочный, хотя и высокопористый, практически негазоносный антрацит.

Доказательство того, что имеет место проявление природной закономерности, требовало уточнения степени метаморфизма углей в окрестности предельных точек А и Б на оси абсцисс, соответствующей степени метаморфизма углей, в которых зарождается, а затем и вырождается выбросоопасность (рис. 2.31). Дело в том, что показатель  $V^{daf}, \%$  недостаточно надёжно оценивает степень метаморфизма антрацитов при  $V^{daf} < 8\%$ . а также степень метаморфизма каменных углей при  $V^{daf} > 25\%$ . Для более надёжной оценки степени метаморфизма антрацитов используется показатель  $l_{gr}$  - логарифм удельного электросопротивления антрацитов. Для каменных углей, когда  $V^{daf} > 25\%$  было предложено использовать комплексный критерий метаморфизма

$$M = f(V^{daf}, y), \text{ у.е.}, \quad (2.16)$$

где  $y$  - толщина пластического слоя, образующегося при нагревании угля без доступа воздуха, мм.

В точке А на оси абсцисс  $\lg p = 3,3$ , в точке Б -  $M = 27,7$  у.е. (рис. 2.31). Следовательно, если  $\lg p < 3,3$  и  $M > 27,7$  у.е. при разработке угольных пластов выбросоопасность не формируется.

Выбросы песчаников и газа в Донбассе происходят даже в тех геолого-промышленных районах и на тех шахтах, где ранее не происходили выбросы угля и газа. Вместе с тем, комплекс разносторонних лабораторных и шахтных экспериментов позволил отечественным специалистам прийти к выводу о единстве природы выбросов угля и газа, породы (песчаников) и газа.

Первоочередным вопросом здесь являлся вопрос о том, откуда в песчаниках газ. Так, природная газоносность выбросоопасных песчаников составляет в среднем  $(2,6 \pm 0,4) 10^{-3}$  м<sup>3</sup>/кг, в невыбросоопасных -  $(2,6 \pm 0,4) 10^{-3}$  м<sup>3</sup>/кг. В поисках доказательного ответа на этот вопрос был выполнен в течение нескольких лет очень значительный объём, иногда неординарных шахтных и лабораторных экспериментов, включающих:

- измерения степени метаморфизма углей пластообразных залежей (пластов), угольных включений и мелкорассеянной органики (размер вкраплений менее 3 мм) в песчаниках, алевролитах и аргиллитах; измерения давления газов в выбросоопасных слоях песчаников и в угольных пластах, залегающих над или - под ними на этом же участке угольно-породного массива;

- измерения давления газов в одних и тех же скважинах, отдельные отрезки которых оказались на участках различной степени выбросоопасности песчаников, и отбор проб в них для измерения содержания различных газов,

- отбор проб газов в угольных пластах и выбросоопасных слоях песчаников для измерения содержания в них метана, высших углеводородов, углекислого газа, гелия и водорода;

- отбор проб водных растворов из угольных пластов и выбросоопасных слоев песчаников, вмещающих эти пласты, для измерения содержания в них оксидов и диоксидов железа, марганца, магния, алюминия и других соединений.

Оказалось, что давление газов в выбросоопасных слоях песчаников достигает 10 МПа и отличается в несколько раз от давления в выбросоопасных угольных пластах; давления газов и их состав в камерах одних и тех же скважин неодинаковы, а содержание газов и состав водных растворов существенно различаются.

Размеры угольных включений в песчаниках Донбасса изменяются от десятков микрон до десятков сантиметров. Если из крупных включений отбор проб угля для определения  $V^{daf}$  (%) не представляет сложности, то степень метаморфизма мелкорассеянной органики можно определить из-за малости навески угля только по данным об отражательной способности витринита. Результаты определения отражательной способности угольных включений размером менее 3 мм в песчаниках привели к выводу, что с уменьшением размеров включений отражательная способность увеличивается, свидетельствуя о росте темпа метаморфизма органических веществ, т. е. о росте скорости физико-химических превращений.

Полученные результаты позволили следующим образом объяснить, почему становятся возможными выбросы песчаника, происшедшие в геолого-промышленных районах Донбасса, где ранее не происходили выбросы угля и газа.

На стадии метаморфизма угольных пластов, характеризующейся  $M > 27,7$  у.е., уровень их газоносности, обусловленный невысокой степенью метаморфизма, недостаточен для возникновения выбросов угля и газа. Но в этих же горно-геологических условиях из-за того, что темп метаморфизма мелкорассеянной органики выше, чем в угольных пластах, создаются условия, в которых метан и его гомологи в песчаниках генерируются интенсивнее. Достигается такой уровень природной газоносности, когда становятся возможными выбросы песчаников и газа. Было установлено, что выбросы песчаников и газа становятся возможными в геолого-промышленных районах, где отражательная способность витринита  $R^0 > 0,75$  у.е. В пересчёте на комплексный показатель метаморфизма это  $M < 28,9$  у.е.

Выбросоопасность песчаников, раньше зарождаясь, раньше природой и устраняется. В геолого-промышленных районах, на шахтах, где степень метаморфизма углей характеризуется  $V^{daf} < 18\%$ , нет выбросов песчаников и газа. Они возможны (соответственно точки В и Г на рис. 2.31 в интервале от  $V^{daf} > 18\%$  до  $M = 28,9$  у.е.

В целом рассмотрение рис 2.31 позволяет детализировать по степени выбросоопасности угольных шахтопластов и слоев песчаников области проявлений потенциальной выбросоопасности. К областям I, II (отсутствие выбросоопасности) и III (возможны выбросы угля) добавляется область IV, в которой не происходят выбросы угля и газа, но происходят и вероятны выбросы песчаников и газа. В об-

ласти V могут происходить как выбросы угля и газа, так и выбросы песчаника и газа. В области VI могут происходить только выбросы угля и газа.

Обобщённо оценить количественно увеличение темпа метаморфизма, т. е. скорости физико-химических превращений угля пластов и мелкорассеянной органики песчаников, происходившее в течение десятков миллионов лет, можно следующим образом. Точке А на рис. 2.31 соответствует  $l_{gr} = 3,3$ ; точке В -  $V^{daf} = 18\%$ ; Б -  $M = 27,7$  у.е. и Г -  $M = 28,9$  у.е. Если исходить из того, что  $l_{gr} = 3,3$  примерно соответствует  $V^{daf} = 3,5\%$ ;  $M = 27,7$  у.е. -  $V^{daf} = 36\%$ , а  $M = 28,9$  у.е. -  $V^{daf} = 39\%$ , то для песчаников диапазон начала и прекращения выбросов составит  $\Delta V_{п}^{daf} = 21\%$ , а для углей -  $\Delta V_{y}^{daf} = 32,5\%$ . Следовательно, для угольных шахтопластов диапазон изменения степени метаморфизма углей от возникновения до прекращения выбросов почти в 1,6 раза больше, чем для песчаников.

Многочисленные определения свойств выбросоопасных и невыбросоопасных песчаников привели к выводу о существовании между ними других чётко устанавливаемых различий, обусловленных процессами метаморфизма, в том числе, в результате физико-химических превращений органических веществ, содержащихся в песчанике. Выбросоопасные песчаники (слои песчаников) имеют более светлую окраску. Средние значения абсолютной пористости выбросоопасных песчаников колеблется в пределах 6-10%, невыбросоопасных – в пределах 4-7%. Средние значения прочностных и деформационных характеристик для выбросоопасных песчаников составляют: предел прочности на сжатие  $\sigma_{сж} = 115$  МПа, на разрыв  $\sigma_p = 12,3$  МПа, модуль упругости  $E_v = 1,05 \cdot 10^4$  МПа. Для невыбросоопасных песчаников  $\sigma_{сж} = 117$  МПа,  $\sigma_p = 12,3$  МПа, модуль упругости  $E_v = 0,84 \cdot 10^4$  МПа. В опасных зонах выбросоопасные песчаники характеризуется повышенными деформациями разгрузки: относительные деформации в опасных зонах составляют  $183 \cdot 10^{-4} - 319 \cdot 10^{-4}$ , а в неопасных -  $29 \cdot 10^{-4} - 0,5 \cdot 10^{-4}$ .

Первые представления о механизме выбросов угля и газа ещё в начале XX века были заимствованы в тех странах (Франция, Бельгия, Германия), в которых проблема выбросов была изучена наиболее глубоко. Считалось, что выброс зарождается в глубине угольного массива, откуда газом горная масса выбрасывается в выработки. Та-

кое представление сохранялось практически неизменным продолжительное время - до начала пятидесятых годов.

В начале пятидесятых годов акад. С.А. Христиановичем было выполнено математическое описание принципиально нового представления механизма выбросов угля и газа, сущность которого в несколько упрощённом изложении заключалась в следующем. Впереди любого движущегося забоя под действием горного давления возникают (прорастают) микротрещины, параллельные забою. Из угля в микротрещину выделяется (десорбируется) газ и создает в ней какое-то давление. Если энергия газа достигнет предельных значений, достаточных для отрыва пластины угля, находящейся между забоем выработки и микротрещиной, произойдёт отрыв пластины. Он будет сопровождаться возникновением новой микротрещины, выделением в неё газа и т. д. Выброс угля и газа может прекращаться в том случае, если после образования очередной микротрещины запасы энергии сжатого газа окажутся меньше предельных.

Сотрудниками ИГД им. А.А. Скочинского развивающими энергетическую теорию выбросов механизм выброса был представлен почти дословно так: существующая вблизи выработки в массиве горных пород концентрация напряжений может привести в результате действия на забой к внезапному разрушению призабойной части пласта. При условии сообщения зоны разрушающегося угля с атмосферой выработки из измельчённого угля происходит быстрая десорбция находящегося там газа, который, устремляясь в сторону пониженного давления, увлекает за собой угольную мелочь. При наличии достаточно большой зоны раздавленного угля десорбирующийся и расширяющийся газ в состоянии отбросить разрушенный уголь на значительное расстояние.

МакНИИ – ДонНТУ (В.И. Николин) считая неточным представление как акад. С.А. Христиановича, так ИГД им. А.А. Скочинского, сформулировал механизм выброса угля (породы) и газа сформулирован следующим образом. Во время отбойки угля (породы) имеет место перераспределение напряжений, сопровождающееся деформациями упругого восстановления, упругого последействия и обратной ползучести в направлении произведённой выемки, являющимися по своей природе деформациями растяжения. Если эти деформации по величине превосходят предельные значения, произойдёт отрыв пластины угля (породы), примыкающей к стенке выемки. Этот отрыв сопрово-

ждается новым (очередным) перераспределением напряжений, вновь приводящим к деформациям растяжения и т. д. и т. п. Выброс прекращается по двум причинам:

- очередное перераспределение напряжений сопровождается деформациями растяжения, не превосходящими предельных, т. е. исчерпана природой заложенная (сформированная) выбросоопасность;

- разрушенного угля (породы) в выработке оказалось так много, что теперь она препятствует (не допускает) дальнейшему увеличению объёма самопроизвольно разрушающегося пласта, без которого последующее разрушение становится невозможным.

Роль в сформулированном механизме выбросов метана, высших углеводородов и других веществ, содержащихся в угольном пласте и находящихся в макроусловиях в газообразном состоянии, двояка. Во-первых, наличие их в микропустотности угольного пласта приводит к охрупчиванию угольного пласта - повышению склонности к разрушению его участка, примыкающего к образованной полости, из-за имеющей место разгрузки. Во-вторых, последовательный отрыв пластин газоносного угольного (породного) массива сопровождается выделением в выработку газа и формирование в ней газугольного псевдооживленного потока, движущегося по выработанному пространству забоя и примыкающим выработкам.

### 2.4.3. Суфлярное выделение метана

Суфлярное выделение метана – выделение свободного метана из видимых трещин и пустот геологического и эксплуатационного происхождения. Происходит оно в основном в подготовительных и капитальных выработках. Источниками суфлярных выделений являются, как правило, газоносные сближенные пласты.

Показатель плотности суфляров (число суфляров на 1000 м длины выработки) определяется по формуле

$$R = \frac{n1000}{l_{\Pi}}, \quad (2.17)$$

где  $n$  – число суфляров за рассматриваемый период;  $l_{\Pi}$  – общая длина выработок, проведенных по пласту.

Показатель  $R$  возрастает с увеличением глубины работ.

Интенсивность суфляров обычно составляет 5-6 м<sup>3</sup>/мин и в редких случаях достигает 15-17 м<sup>3</sup>/мин.

В состав суфлярных газов наряду с метаном, который составляет 80-95% их объема, входят тяжелые углеводороды –  $C_2H_6$ ,  $C_3H_8$  и др., содержание которых возрастает с увеличением глубины работ.

## 2.5. Горные удары

**Горный удар** - явление скачкообразного перехода упругой энергии предельно напряженного массива вокруг горных выработок и силы тяжести в работу сдвига и разрушения горных пород, энергию линейного и волнового движения горных пород вследствие нарушения неустойчивого равновесия продуктивной толщи (пласта) внешней или (и) внутренними силами, обусловленными ведением горных работ.

При горном ударе происходит скачкообразное перераспределение напряжений в массиве горных пород. Внешнее проявление горного удара - разрушение и отброс (выдавливание) пород (угля, соли, руды), разрушение крепи, смещение оборудования, машин, резкий звук, образование пыли, воздушной волны, в газовых шахтах - усиление газовыделения. В наклонных и крутых выработках удар может сопровождаться обрушением и высыпанием пород.

По форме и силе проявления горные удары подразделяются на собственно горные удары, микроудары, толчки и стрельяния.

**Микроудары** сопровождаются звуком, сотрясением горного массива и образованием пыли без нанесения серьезного ущерба.

**Толчок** проявляется в виде сотрясения пород, разлома и выдавливания части массива без разрушения на куски.

**Стреляние** проявляется в виде отскакивания от массива кусков, чешуек породы (угля) и сопровождается звуковым щелчком.

Горные удары происходят в целиках перед лавой, в том числе в краевой части целика (перед лавой), в выработках за фронтом горных работ с разрушением пород кровли или выдавливанием пород почвы (рис. 2.32). По степени опасности угольные пласты относятся к опасным и угрожаемым по горным ударам.

Горные удары могут проявляться на большой площади и обладают значительной разрушительной силой. Например, при горном ударе на угольной шахте «Фритц Хейнрих» в 1942 г. было травмировано 45 человек.

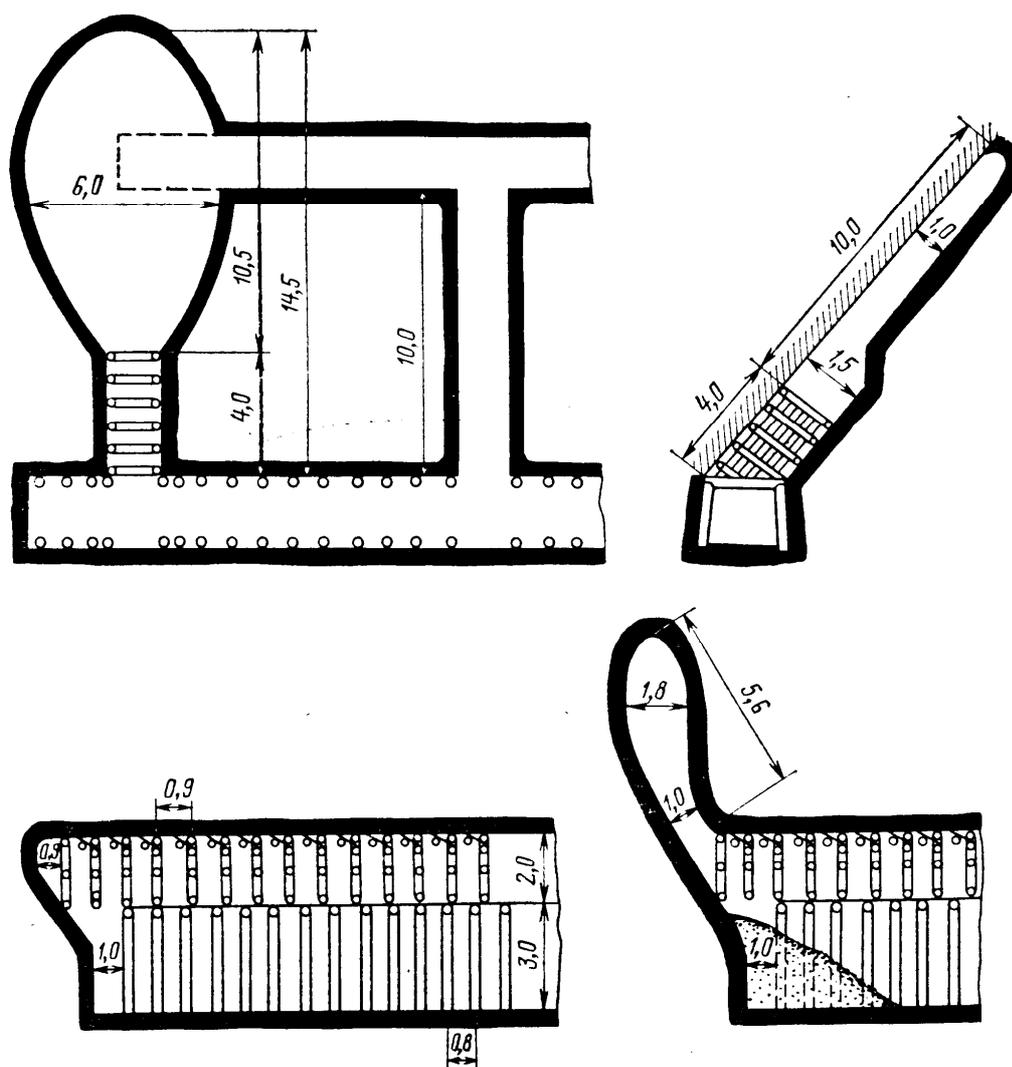


Рис.2.32. Полости, образующиеся в результате выброса

В СНГ первые горные удары проявились в Кизеловском угольном бассейне. Позднее они стали проявляться на шахтах Шурабского и Кизилкийского месторождений, в Кузнецком, Донецком бассейнах, на Сучанском, Воркутском, Ткибульском, Баренцбургском, Липовецком месторождениях, на месторождениях острова Сахалин и др.

### 2.5.1. Природа и механизм горных ударов. Условия возникновения горных ударов.

Земная кора, включая продуктивные толщи (залежи), находится в сложнапряженном состоянии. При внедрении в массив горных выработок, особенно очистных, происходит перераспределение напряжений и образуется область предельно напряженного состояния. Она характеризуется низкими напряжениями на кромке пласта и зоной

максимальных напряжений на некотором расстоянии от кромки в глубь массива, в результате чего перераспределяются естественные напряжения, что, в свою очередь, вызывает разрушение массива, выдавливание пласта (пород) в сторону его обнажения. Особенно сложными являются деформации в уступах, где происходит наложение напряжений. Характер этого процесса зависит от соотношения скорости прилагаемых дополнительных нагрузок и скорости передачи их в глубь массива за счет пластических деформаций. Угольные, соляные пласты и рудные тела имеют сложное строение, разбиты многочисленными поверхностями ослабления в виде трещин плоскостей сдвига, напластования и т. п., отдельные пачки пластов обладают разными прочностными характеристиками, поэтому условия деформирования их различны. Наряду с деформациями пласта и залежи в целом происходит деформирование отдельных пачек, что вызывает дополнительные напряжения, которые могут распределяться крайне неравномерно.

Характер деформирования призабойной зоны пласта в сложно-напряженном состоянии зависит от соотношения скоростей нарастания напряжений в призабойной зоне пласта  $v_H$  и релаксации напряжений для данных горно-геологических условий  $v_p$ .

При  $v_H > v_p$  возможно хрупкопластическое разрушение, в том числе и в виде горного удара.

Один из возможных вариантов распределения напряжений и деформирования пласта в призабойной зоне показан на рис. 2.33.

Деформирование пласта происходит ступенчато за счет влияния сил, препятствующих деформации, внутри массивного сцепления, трения на контактах пласта и боковых пород и между отдельными пачками, а также защемления пласта боковыми породами. Когда активные силы превышают силы, препятствующие деформированию, происходит перемещение массива до установления нового неустойчивого равновесия. Вследствие того, что силы трения покоя превышают силы трения при скольжении, уже начавшееся сдвигание происходит несколько дольше периода равновесия и создаются условия для новой стадии деформирования. Ступенчатый характер деформирования усугубляется также сложностью структуры пласта и сдвиганиями боковых пород за счет образования трещин среза при изгибе крепких пород (например, песчаников).

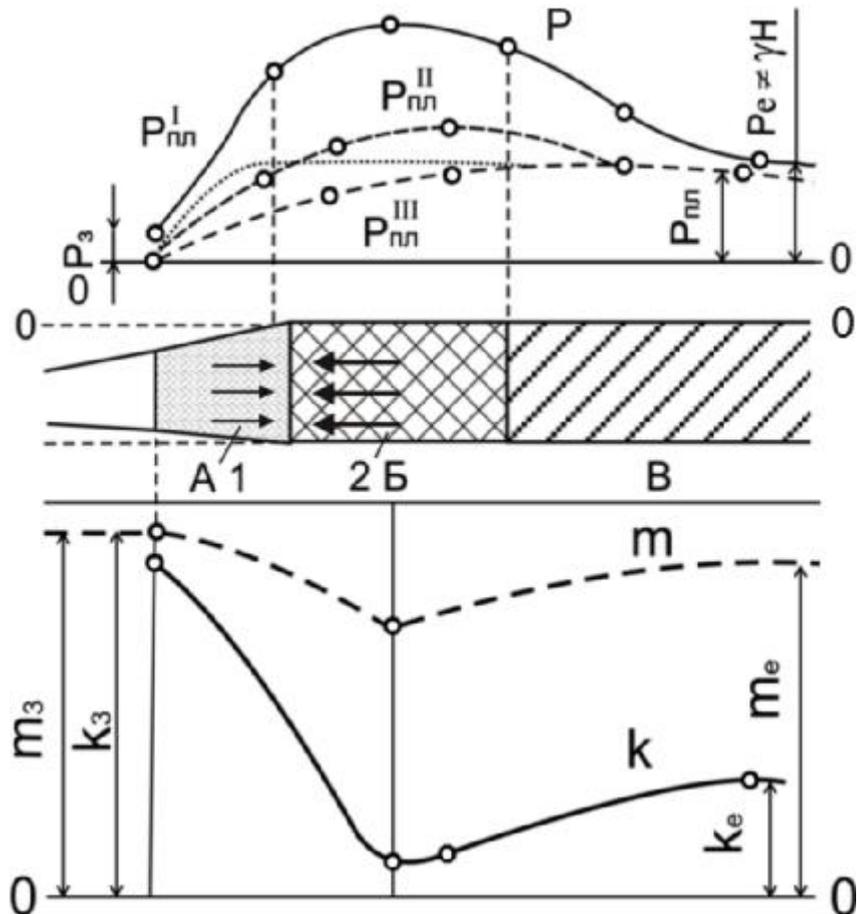


Рис. 2.33. Схема распределения напряжения  $P$ , пластового давления газа  $P_{гI}$ ,  $P_{гII}$ ,  $P_{гIII}$ ,  $P_{гe}$ ,  $P_з$ ,  $K_з$ ,  $m_з$ ,  $P_e$ ,  $K_e$ ,  $m_e$  – показатели состояния и свойств пласта соответственно на кромке обнажения и в естественном состоянии; А, Б и В – участки соответственно хрупкого пластического деформирования, упругопластического деформирования и упругого напряжения; 1 и 2 – направления соответственно волны напряжений и пластических деформаций

В результате очередного преодоления сил трения и защемления пласта происходит очередное ступенчатое деформирование области А (см. рис 2.33). Это выдавливание приводит к резкому или мгновенному снижению бокового отпора в части или во всей области В, в результате чего создаются условия для хрупкого разрушения с переходом потенциальной энергии упругого сжатия, запасенной пластом и боковыми породами, в работу образования новых поверхностей и кинетическую энергию, способствующую дальнейшему выдавливанию области Л. Если выдавливающих сил окажется достаточно, область А будет перемещаться непрерывно и лавинообразный процесс разрушения в области В перерастет в горный удар.

## 2.6. Обрушения горных пород и угля

За длительный период в общей аварийности на шахтах Украины обрушения пород и угля в горных выработках являются вторыми по количеству после подземных пожаров. Количество аварий от обрушений и обвалов пород и угля непостоянно по годам (см. табл. 2.1). За последние 5 лет (2006-2010 г.г.) произошло 88 обрушений. Максимальное число обрушений и обвалов зарегистрировано в 2008 г. (25), а минимальное – в 2007 и 2010 г.г. (по 13). В среднем можно считать, что в последние 5 лет ежегодно происходит около 18 обрушений и обвалов, сопровождающихся несчастными случаями или гибелью людей. Учет обрушений и обвалов, при которых несчастных случаев не было, в угольной отрасли не ведется, и полных и достоверных данных по таким авариям не имеется. Высказывается мнение, что неучтенных аварий от обрушений и обвалов, которые не вызывали травматизма, но оказывали на техногенные процессы, в 2 раза больше, чем тех, которые приводили к несчастным случаям.

Причинами аварий от обрушений горных пород и угля являются:

- несоблюдение или нарушение паспортов крепления;
- ведение горных работ в зоне непредсказуемых трещин кливажа пород непосредственной кровли или в техногенных зонах;
- недостаточная устойчивость металлической крепи;
- отсутствие (не возведение) временной крепи;
- оставление за крепью незаложенных пустот;
- несоответствие крепи горно-геологическим условиям;
- недостаточное сопротивление крепи;
- недостаточная плотность крепи;
- нарушение разработанной технологии выемки угля;
- несвоевременное принятие мер по усилению крепи;
- отсутствие в паспорте выемочного участка специальных мероприятий по управлению горным давлением и креплением;
- внезапная посадка основной кровли;
- наличие геологических нарушений в массиве или в пласте угля;
- некачественное крепление выработок.

Обрушения и обвалы при пологом залегании пластов отличаются от обрушений и обвалов при крутом залегании пластов, что наглядно видно из характерных аварий, рассмотренных в разделе 3.

## **2.7. Затопление**

В процессе ведения горных работ одной из опасностей является распространение текущих масс в горные выработки. Наиболее часто при эксплуатации шахт происходит проникновение в выработки воды, а в ряде случаев глины и пульпы, применяемых в качестве заиловочных материалов, что является при отсутствии специальных защитных или предупредительных мероприятий причиной затопления выработок. За последние 5 лет на шахтах Украины произошло только 2 затопления в 2006 и 2009 г.г. (см. табл. 2.1).

### **2.7.1. Источники и причины затопления**

Источниками поступления воды в выработки являются обводненные зоны и затопленные выработки, пройденные по тому же пласту и удаленные в общем случае не более чем на 200 м, а также выработки, расположенные в пластах, залегающих над и под действующими выработками, проведенными по естественным и искусственным нарушениям, пересекающим затопленные выработки. Источниками затопления выработок могут быть также незатрапонируемые геологоразведочные и технические скважины. Существенные предпосылки к затоплению выработок появляются при разработке водоносных и обводненных месторождений, характеризующихся наличием пливунов, водоносных карстов, галечников и других обводненных зон. При определенном рельефе земной поверхности и строении массива горных пород источником затопления выработок могут являться атмосферные осадки. Кроме того, как отмечалось выше, одним из источников затопления выработок являются прорывы глины и пульпы, используемые в шахтах в качестве заиловочных материалов.

## **2.8. Заражение горных выработок токсическими веществами**

### **2.8.1. Причины заражения**

Проникновение токсичных веществ в горные выработки может происходить через воздухоподающие стволы, трещиноватый породный массив и с подземными водами. Накапливающиеся на промышленных площадках и свалках отходы токсичных веществ размывают-

ся атмосферными осадками, разносятся ветром и фильтруются через массив пород. При длительном хранении отходов создается своего рода химический реактор, в котором могут образовываться отличные от исходных токсичные вещества. Кроме того, при аварийных утечках и проливах токсичных веществ на предприятиях, расположенных в пределах горных отводов шахт или на водоразделах, обычно характеризующихся тектонической нарушенностью, повышенной трещиноватостью и водопроницаемостью, возможно заражение горных выработок на значительной глубине. Так факты неоднократного поступления цианидов, толуола, фенола, бензола, хлорбензола и др. веществ в горные выработки шахты "Александр-Запад" отмечались с 1983 г. на горизонтах 350 и 450 м. Шахта расположена непосредственно под территорией Горловского химического завода. Наиболее значительное заражение произошло в декабре 1989 г. на участке № 165 горизонта 350/450 м (максимальная зарегистрированная концентрация хлорбензола в воздухе исходящей лавы составляла 164 ПДК, а в откаточном штреке 289 ПДК), приведшее к массовому отравлению горнорабочих и горноспасателей. Масштабные заражения выработок в Центральном районе Донбасса произошли на шахтах "Углегорская", "Кондратьевка", им. М.И.Калинина. Локальные заражения токсичными веществами стволов шахт имели место на шахтах им.Ильича ПО "Стахановуголь" и им. А.Б.Батова ПО "Макеевуголь", в основном, вследствие поступления в ствол воды, содержащей фенол, бензол и др. продукты, характерные для коксохимического производства.

Выполненными объединением Укруглегеология разведочными работами и исследованиями на наблюдательных скважинах глубиной от нескольких десятков до 700-800 м в Горловско-Енакиевском промышленном районе установлены многочисленные очаги загрязнения массива горных пород токсичными веществами и высокая проницаемость пород особенно в подработанной части. Методом запуска цветных трассеров с территорий химического и коксохимического заводов и объединения "Стирол" выявлены пути миграции токсичных веществ в выработки, по которым через несколько суток (максимально через два месяца) они обнаружены во всех шахтах, расположенных в районе этих производств.

Реальная опасность заражения отдельных выработок и участков требует разработки методики прогноза и выполнения паспортизации

шахт с определением ожидаемых токсичных веществ, вероятных путей их миграции в горные выработки и возможных зон появления концентраций, превышающих ПДК.

### 2.8.2. Механизм заражения

Проникновение токсичных веществ с дневной поверхности от химически опасных объектов в действующие горные выработки шахт возможно при их изначальном переносе воздухом, поступающим через стволы, шурфы, скважины, и подземными водами, имеющими гидравлическую связь с приповерхностными зараженными водами (рис 2.34).

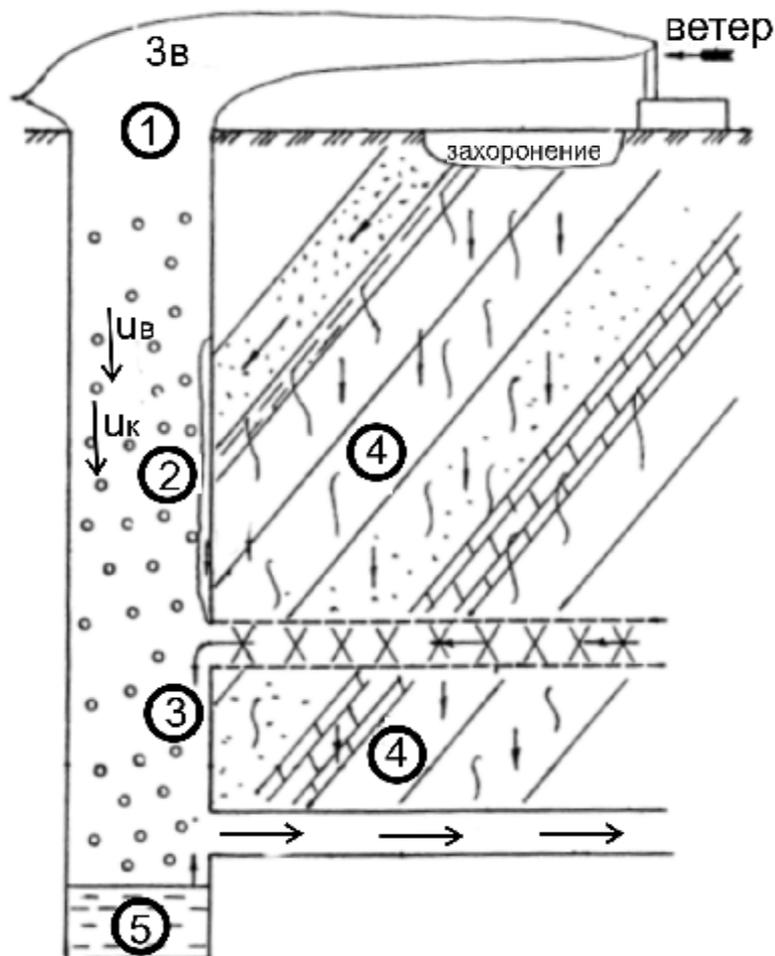


Рис. 2.34. Схема поступления токсичных веществ в горные выработки

Поступление через ствол с воздухом токсичных веществ возможно при их аварийных и технологических выбросах в атмосферу в слу-

чае распространения их облака главным образом силой ветра в область воронки всасывания над стволом (поз.1 на рис. 2.34). Для шахт Украины потенциально опасными токсичными веществами являются аммиак, хлор, нафталин, сернистые соединения и окислы азота. Из-за возможности их своевременного обнаружения у ствола и принятия мер по предотвращению поступления зараженного воздуха в шахту этот источник заражения горных выработок не представляет серьезной опасности.

При зараженности межпластовых и трещинных подземных вод, дренируемых стволом, токсичные вещества вместе с водой, стекающей по стенкам ствола и в виде капежа, будут транспортироваться к зумпфу (поз. 2 на рис. 2.34). При разности температур воды и воздуха в стволе возможно испарение и переход в газовую фазу некоторых переносимых токсичных веществ, вызывающих заражение поступающего по стволу воздуха и дальнейшее распространение токсичных примесей по сети выработок. Аналогичные процессы могут происходить при содержании токсичных веществ в обводненных погашенных выработках, имеющих выход к стволу (поз.3 на рис. 2.34). При расположении у действующих выработок трещинных коллекторов, в которых возможно накопление токсичных веществ, или при выходе в выработку водопроводящих трещин происходит заражение стенок, воды и атмосферы выработки (поз.4 рис. 2.34). Возможным источником заражения горных выработок может служить вода в зумпфе при ее перепуске в другую выработку или вследствие испарения (выделения) токсичных веществ в атмосферу над зеркалом воды (поз. 5 рис. 2.34).

Не претендуя на полноту, представленная модель позволяет обоснованно считать, что основные пути поступления токсичных веществ в горные выработки связаны с их переносом подземными водами.

Подземные воды угольных месторождений относятся главным образом к трещиновато пластовым и характеризуются большим количеством водоносных горизонтов, сообщающихся через систему горных выработок и трещин тектонического и эксплуатационного происхождения. Трещиноватость в Центральном районе Донбасса развита на глубину более 1000 м. С глубиной водообильность горных выработок обычно уменьшается. Зоны тектонических нарушений, особенно при сочетании дизъюнктивных и пликативных нару-

шений обычно характеризуются высокой водообильностью и водопроницаемостью, которые зависят от степени раскрытости трещин, образующихся под влиянием напряжений растяжения.

В стратиграфическом разрезе угленосного массива применительно к механизму миграции подземных вод условно можно выделить три зоны:

1-я зона наносов и выветренных пород глубиной обычно до 50-70 м, в пределах которой существует гидравлическая связь, передвижение поверхностных вод первого водоносного горизонта вызывается силами фильтрации;

2-я зона интенсивной циркуляции подземных вод с развитой открытой трещиноватостью до глубины 600 и 700 м соответственно на южном и северном крыле главной антиклинали;

3-я зона замедленной циркуляции до глубины 1000-1100 м, в пределах которой затухает открытая трещиноватость. В пределах первой зоны проницаемость почвенно-растительного слоя по воздуху, воде, бензолу и ацетону по данным лабораторного определения соответственно составляет 8,4; 1,9; 3,4; 4,1 м<sup>3</sup>/сутки, для супесей проницаемость по указанным веществам находилась в пределах 3,3-5,0; 0,3-0,9; 1,1-2,1; 1,4-2,0, для суглинка - 1,4; 0,2; 0,7; 0,8 м<sup>3</sup>/сутки. Для коренных пород в этой зоне значения проницаемости были в 10-100 раз меньше. Вне зоны выветривания проницаемость сланцев и песчаников по приведенным выше веществам близка к нулю (для алевролита прочного  $8,3 \cdot 10^{-3}$ , сланца алевролитового  $5,7 \cdot 10^{-5}$ ).

В то же время в природной толще по данным гидрогеологических испытаний во второй зоне водопроницаемость песчаников на северном крыле главной антиклинали составляет от 4,79 до 0,7 м<sup>3</sup>/сут., а в третьей - в среднем 0,51-0,23 м<sup>3</sup>/сут. Такая водопроницаемость вызывается только открытой трещиноватостью и с ее затуханием по глубине отмечается снижение водопроницаемости. Поэтому характер движения подземных вод в пределах 2 и 3 зон будет изменяться от руслового вдоль водоносных горизонтов до трещинно-напорного. Горные породы обладают открытыми и закрытыми порами, обуславливающими развитую внешнюю и внутреннюю поверхность, обладающую определенным адсорбционным потенциалом к тому или иному веществу. Удельная адсорбционная емкость пород (в мг вещества на 1 г адсорбента) к веществам типа бензола, в основном, убывает в ряду: уголь, глинистые породы, известняки, песчаники.

Особенностью адсорбции из жидкостной фазы является то, что поглощение вещества происходит из плотной среды, которая также может поглощаться. Адсорбируемость вещества из раствора зависит от химической природы не только вещества, но и растворителя, соотношения компонентов, природы сорбента и температуры процесса.

Основное термодинамическое уравнение сорбции из растворов описывается уравнением Гиббса /65/.

Основную опасность в горных выработках представляет заражение рудничного воздуха газообразными и парообразными токсичными веществами, поражающими органы дыхания, слизистые оболочки и проникающими через кожные покровы. Из прогнозируемых для Донецкого района токсичных веществ 50 наименований большую часть составляют газообразные, обладающие различной растворимостью в воде. Поэтому зараженные подземные воды могут быть газонасыщенными.

При движении подземных вод через нарушенный горный массив происходят изменения качественные и количественные в содержании газообразных, нерастворимых и растворимых примесей. Эти изменения вызываются гравитационными силами, сорбционной и химической активностью горных пород и углей к некоторым переносимым подземными водами веществам, в том числе и токсичным, поступившим в горный массив при технологических и аварийных их проливах на химически опасных производствах. Из-за повышения температуры пород с глубиной физико-химические превращения в переносимых водными потоками примесях не являются постоянными. При этом, увеличивается удельная скорость растворения, снижается константа фазового равновесия, приводящая к уменьшению количества сорбируемого вещества вплоть до возникновения процесса десорбции ранее поглощенных токсичных веществ, когда их содержание в движущемся потоке отличается от равновесного с находящимся на внешней поверхности и в объеме пор горного массива.