

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ОТКРЫТЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

Кафедра разработки месторождений полезных ископаемых

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе

А.К.Порцевский

ВЕНТИЛЯЦИЯ ШАХТ АЭРОЛОГИЯ КАРЬЕРОВ

(Аэрология горных предприятий)

**Гриф УМО (№ 51-76 от 28.06.2004.). Зарегистрировано в
Федеральном агентстве по образованию (№ 5368 от 16.11.2005.)**

для студентов специальностей
130402 (090100) «Маркшейдерское дело»
130403 (090500) «Открытые горные работы»
**130404 (090200) «Подземная разработка месторождений
полезных ископаемых»**
130405 (090300) - Обогащение полезных ископаемых
130406 (090400) «Шахтное и подземное строительство»

Москва 2004 г.

Рецензенты:

Проф., д.т.н., Московский Государственный
Горный Университет

К.З.Ушаков

Проф., д.т.н., Институт Горного дела
им. А.А.Скочинского

И.Г.Ищук

Введение

Цель изучения дисциплины и её значение для данной специальности

Дисциплина предусмотрена в Государственном Образовательном Стандарте высшего профессионального образования для специальностей: 090100 («Аэрология горных предприятий» - 70 часов), 090200 («Вентиляция шахт» - 90 часов), 090300 («Аэрология горных предприятий» - 70 часов), 090400 («Аэрология подземных сооружений» - 70 часов), 090500 («Аэрология карьеров» - 70 часов).

Цель изучения: получение знаний о рудничной атмосфере и атмосфере карьеров, законах движения воздуха, о мероприятиях по обеспечению безопасных условий работы трудящихся, способах проветривания шахт, проходческих забоев и карьеров.

Значение дисциплины: при безлюдной добыче, например, методами физико-химической геотехнологии, в проветривании нет необходимости, но в горных выработках, где могут находиться люди, необходимо поддерживать нормальную атмосферу (по правилам безопасности содержание кислорода должно быть не менее 20%, углекислого газа не более 0,5-0,75%) и обеспечивать комфортные климатические условия (температуры, давления, влажности, подвижности воздуха).

Место данной дисциплины среди других дисциплин специальности

Данной дисциплине должно предшествовать изучение следующих естественнонаучных и общепрофессиональных дисциплин из Государственного Образовательного Стандарта по направлению 650600 «Горное дело»: физика, химия, гидродинамика и термодинамика, основы горного дела.

Теоретические знания и практические навыки, усвоенные в данной дисциплине, в дальнейшем используются в следующих дисциплинах: экология, безопасность жизнедеятельности, горное дело и окружающая среда, горные машины и оборудование, проектирование горных предприятий, электрооборудование и электроснабжение горных предприятий, экономика и менеджмент горного производства (шахтного и подземного строительства).

График изучения дисциплины

На лекционно-практические занятия отводится 70 часов (для специальностей 090100 – 5 курс, 090300 – 5 курс, 090400 – 4 курс и 090500 – 4 курс) и 90 часов (для специальности 090200 – 4 курс), изучение каждого раздела завершается проверкой знаний по тестам и контрольным и курсовым работам, итоговые знания студентов оцениваются на зачёте или экзамене.

Структура дисциплины

Вводная лекция.

Цель изучения и значение дисциплины, её место среди других дисциплин, методика изучения (лекционно-практические занятия, контрольные и курсовые работы, тесты, сдача зачёта, экзамена).

Раздел I. Аэрология рудников, шахт и проходческих забоев.

1.1. Атмосфера Земли, рудничная атмосфера, главные ядовитые примеси рудничного воздуха, рудничная пыль, предотвращение метановыделения, пылеподавления и воспламенения, климатические условия в шахтах. Предельно-допустимая концентрация, контроль за рудничной атмосферой.

1.2. Шахтная аэродинамика: аэростатическое и аэродинамическое давление, ламинарное и турбулентное движение воздуха, аэродинамические местные и лобовые сопротивления.

1.3. Депрессия, напор, утечки воздуха, эквивалентное отверстие, способы и схемы вентиляции, надшахтные здания и сооружения, регулирование движением воздуха (вентиляционные окна, двери, перемычки, воздушные и водяные завесы, кроссинг), проверка площади сечения выработки, естественная тяга.

1.4. Шахтные вентиляционные сети: проветривание тупиковых проходческих забоев, лавообразных выработок, расчёт расхода воздуха для угольных шахт, для рудников, при строительстве тоннелей. Выбор вентиляторов главного и местного проветривания: по депрессии, расходу воздуха и по экономическим соображениям.

1.5. Способы дегазации метанообильных шахт при проходке выработок и добычных работах: опережающее бурение дегазационных скважин, законтурное бурение ограждающих скважин, предварительная дегазация с искусственным повышением газоотдачи (за счёт подземного гидроразрыва, солянокислотной обработки, глубинного гидрорезания), передовая дегазация, дегазация подрабатываемых угольных пластов и выработанного пространства, шахтно-бесшахтный способ дегазации с земной поверхности.

Раздел II. Аэрология карьеров.

2.1. Атмосфера и микроклимат карьеров, жёсткость погоды, источники загрязнения атмосферы, аэродинамика карьеров, пылеподавление.

2.2. Схемы естественного проветривания энергией ветра и действием термических сил, адиабатический коэффициент. Прямоточная и рециркуляционная схема проветривания. Конвективное и инверсионное движение воздуха.

2.3. Искусственная вентиляция карьеров с использованием вентиляционных установок, подземных выработок. Комбинированное проветривание карье-

ров. Методы усиления естественного воздухообмена, роза ветров, расположение отвалов, зданий и сооружений на земной поверхности, ориентация карьера и капитальных траншей в плане, сглаживание угла откоса бортов, изменение окраски бортов и дорог.

Раздел III. Оценка воздействия на окружающую среду.

3.1. Экологический ущерб от выбросов в атмосферу рудничного воздуха, при работе и массовых взрывах в карьере и на отвальном хозяйстве.

3.2. Реабилитационные, компенсационные меры, установление санитарно-защитной зоны.

Атмосфера Земли

Земной шар окружён мощной газообразной оболочкой – атмосферным воздухом. Состав **атмосферного воздуха** практически постоянен во всех местах земной шара: содержание кислорода колеблется от 20,5 до 20,95%, азота – около 78%, аргона – 0,93%, углекислого газа – 0,04%, других газов (гелий, неон, криптон, озон, радон, водород, аммиак, йод) – около 0,03%. Водяные пары содержатся в воздухе в различных количествах (0-4%) и их наличие не влияет на процентное соотношение газовых компонентов. Поле тяготения Земли и ускорение свободного падения ($g > 9,8 \text{ м/с}^2$) таково, что практически остановлена диссипация легкого газа, жизненно необходимого кислорода, из атмосферы в космос.

С необходимостью вентиляции подземных выработок люди столкнулись уже давно, ещё до н.э. во времена римлян в Испании (Рио-Тинто) длинные штольни снабжались воздухом из вентиляционных шурфов. Но до изобретения механического вентилятора в 1832 г. шахты проветривались лишь за счёт естественной тяги, т.е. за счёт разности отметок вентиляционных шурфов, колодезев.

Глоссарий наиболее употребляемых терминов:

Аэрология – наука о свойствах рудничной атмосферы, законах движения воздуха, пыли и тепла в горных выработках.

Вентиляционные двери (шлюз из двух дверей) – служат для изоляции и регулирования воздушных потоков в горных выработках.

Газовый баланс шахты – это её суммарная абсолютная метанообильность по различным источникам газовой выделению. Газовыделение в шахте непостоянно во времени, поэтому нужно производить замеры его, а по величине относительной газообильности оценивают категорию угольных и сланцевых шахт по газу.

Газообильность шахты – это степень изменения состава шахтного воздуха за счёт выделения шахтных газов. Абсолютная – количество газа, выделяющегося в выработки в единицу времени, измеряется в $\text{м}^3/\text{мин}$. Относительная газообильность – количество газа, выделяющегося в шахте за какой-то период времени, отнесённое к количеству добытого полезного ископаемого за этот же промежуток времени.

Депрессия – разность между атмосферным давлением и давлением, создаваемым *всасывающим* вентилятором (см. напор).

Каптаж - улавливание в скважины, затем отсасывание метана из дегазационных скважин в специальный газопровод и далее - на земную поверхность (см. способы дегазации).

Кессон – шлюзовая камера с избыточным атмосферным давлением (обычно до 0,2 МПа), используется при проходческих работах в обводнённых породах с напором вод до 20 м.

Кроссинг – воздушный мост, устанавливаются на пересечении выработки со свежей и выработкой с исходящей струями, служат для разделения потоков. Например, вентиляционная дверь и обходная сбойка (или труба) для пропуска потока воздуха в *обход* пересекаемой выработки.

Напор - разность между атмосферным давлением и давлением, создаваемым *нагнетательным* вентилятором (см. депрессия).

ПДК – предельно-допустимая концентрация вредных веществ, превышение которых вызывает у людей те или иные заболевания.

Полная депрессия (или напор) вентилятора затрачивается на *преодоление* сопротивления вентиляционной сети шахты, самой вентиляционной установкой и на создание скоростного (динамического) напора на выходе воздуха в атмосферу.

Реверсия вентиляционной струи – искусственное изменение направления движения воздуха в горных выработках - на обратное.

Роза ветров - векторная диаграмма, характеризующая режим ветра в данном месте по многолетним наблюдениям. Длины лучей, расходящихся от центра диаграммы в разных направлениях, пропорциональны *повторяемости* ветров этих направлений. Розу ветров учитывают при планировке населенных мест, отвалов, хвостохранилищ, их расположения относительно шахт и карьеров.

Способ вентиляции – способ подачи воздуха в шахту: нагнетательный, всасывающий и комбинированный (нагнетательно-всасывающий) – см. рис. 1. Всасывающий способ рекомендуется только на газообильных шахтах.

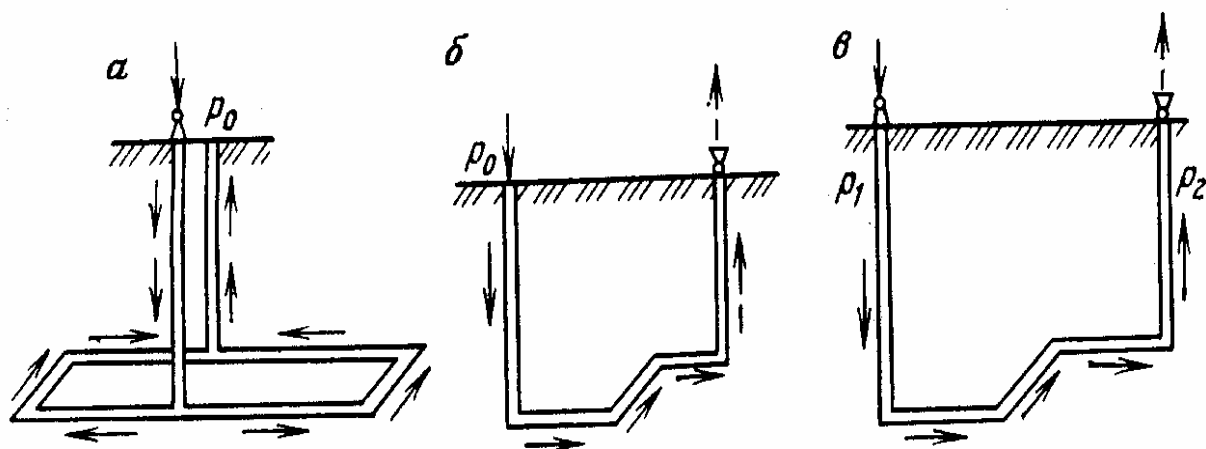


Рис. 1. Способы вентиляции шахт и рудников:
а – нагнетательный (при центральном расположении стволов);
2 – всасывающий и 3 – комбинированный
(при фланговом расположении стволов)

Статическая депрессия является разностью полной депрессии и скоростного напора.

Схемой вентиляции называется определённый порядок распределения и движения воздуха по горным выработкам.

Схемой проветривания называется чертёж, на котором показано расположение вентиляторов и направление движения воздуха по важнейшим выработкам.

Суфлярные выделения – интенсивные выделения (более 1 м³/мин), например, метана или углекислого газа, - из крупных разломов, трещин, видимых полостей, может достигать 20 м³/мин.

Эквивалентное отверстие - воображаемое отверстие в тонкой стенке, через которое проходит то же количество воздуха, что и через рудник, под влиянием разности давления, равной депрессии рудника.

Значение кислорода и углекислого газа по теории К.Бутейко

Теория базируется на современных представлениях о грандиозной биологической роли CO₂ для здоровья и жизни человека и всего живого на Земле и на физиологических законах действия CO₂ на организм и на все системы человека, животных и растений. **Углекислый газ является основным продуктом питания всей живой материи Земли** (растения поглощают углекислоту из воздуха). Растениями питаются животные, а человек - теми и другими. Огромные запасы CO₂ в воздухе древних эпох с десятков процентов уменьшились до ничтожно малой величины - трех сотых процента в наше время. Поглощение растительностью этого остатка источника питания приведёт к неминуемой гибели всего живого на Земле.

Обмен веществ в клетках человека и животных создавался в древние геологические эпохи, когда углекислота в воздухе и воде составляла десятки процентов. Поэтому концентрация CO₂ в клетках является абсолютно необходимым условием нормального протекания всех биохимических процессов. В процессе эволюции в организме человека и высших Животных создалась своя автономная воздушная среда, представленная альвеолярным **пространством легких** (общая поверхность альвеол взрослого человека составляет 90÷150 м², через стенки альвеол кислород проникает в кровь), где **содержится около шести с половиной процентов CO₂, а кислорода на семь процентов меньше, чем в окружающем воздухе (т.е. около 13%)**. Очевидно, это минимальная концентрация CO₂, обеспечивающая нормальный обмен веществ в клетках. Например, **снижение CO₂ в легких при углубленном дыхании человека сдвигает рН в щелочную сторону, что изменяет активность ферментов и витаминов** - регуляторов обмена веществ, что нарушает нормальное протекание

обменных процессов и ведет к гибели клеток. Если CO_2 снизится до трех процентов, а pH сдвинется до восьми, организм погибнет.

Пагубное влияние глубокого дыхания на организм через создаваемый им дефицит CO_2 доказан многочисленными экспериментами, начиная с работ известного физиолога Д. Гендерсона, проведенных в девятьсот девятом году. Гендерсон подключал животных аппарат, углубляющий дыхание, и они погибали. Для сохранения постоянства CO_2 в легких в процессе эволюции возникли следующие механизмы защиты: а) спазмы бронхов и сосудов; б) увеличение продукции холестерина в печени как биологического изолятора, уплотняющего клеточные мембраны в легких и сосудах; в) снижение артериального давления (гипотония), уменьшающее выведение CO_2 из организма. Но спазмы бронхов и сосудов уменьшают приток кислорода к клеткам мозга, сердца, почек и других органов. Уменьшение CO_2 в крови повышает связь кислорода и гемоглобина и затрудняет поступление кислорода в клетки (эффект Вериге-Бора). Уменьшение кислородного притока в ткани вызывает кислородное голодание тканей - гипоксию. Кислородное голодание тканей, достигнув угрожающей организму степени, вызывает у некоторых индивидуумов повышение артериального давления (гипертонию). Гипертония увеличивает кровоток через суженные сосуды и улучшает кислородное снабжение клеток жизненно важных органов. Кислородное голодание тканей уменьшает содержание кислорода в венозной крови, что ведёт к расширению венозных сосудов и проявляется в расширении вен на ногах с образованием варикоза, расширении геморроидальных вен с развитием геморроя. Уменьшение CO_2 в крови увеличивает свёртывающую функцию крови и в сочетании с замедлением тока крови в венах способствует развитию тромбофлебита. Кислородное голодание жизненно важных органов, достигнув предельной степени, возбуждает дыхательный центр и создает в нем доминантное возбуждение. Это ещё больше усиливает дыхание. Создается ощущение одышки, или недостатка воздуха, что ещё более углубляет дыхание и замыкает порочный круг. **Уменьшение CO_2 в нервных клетках уменьшает порог их возбудимости.** Это возбуждает все отделы нервной системы, усиливает генерализацию возбуждений и приводит к раздражительности, бессоннице, постоянному предельному напряжению нервной системы, необоснованной мнительности, страху, вплоть до обморока и эпилептического припадка. Одновременно усиливается возбуждение дыхательного центра. Так замыкается второй порочный круг циркуляции возбуждения в нервной системе, оказывающейся чрезвычайно чувствительной к внешним нервным воздействиям и стрессу при нарушении обмена веществ и при кислородном голодании нервных клеток. Вот почему дефицит CO_2 в организме, вызванный, в частности, глубоким дыханием, поражает в первую очередь нервную систему.

Даже если глубину дыхания уменьшить ниже нормы и увеличить содержание CO_2 в организме выше нормы на полпроцента - один процент, то отрицательных симптомов не будет. Напротив, в этом случае даже у бывших тяжело больных бронхиальной астмой, стенокардией, гипертонией, - появляются симптомы сверхвыносливости. В клиниках наблюдается это уже второе десятилетие. Оказалось, что крайнее уменьшение глубины дыхания не приводит к каким-либо болезненным явлениям. Так фактически удалось открыть основной

закон смерти: чем глубже дыхание, тем сильнее болезнь и ближе смерть - и наоборот, чем меньше глубина дыхания, тем здоровее, выносливее и долговечнее организм. Академик Гулый доказал, что если повысить содержание углекислоты в организме животных, то при одном и том же питании почти удваивается удой молока у коров, привес у цыплят, поросят. Другими словами, углекислый газ является питанием для синтеза белков, жиров и углеводов. Это означает, что без затраты дополнительных средств можно повысить производство мяса, молока, яиц и других продуктов питания.

Оказалось, что основные положения традиционной медицины: глубже дышать, больше отдыхать, лежать и спать, калорийней питаться - усиливают дыхание. К углублению дыхания ведут и курение, употребление алкоголя. Отсюда обратное понимание: надо меньше дышать, меньше отдыхать, меньше спать, меньше развлекаться и больше работать физически, работать до пота, так как с потом удаляются многие яды из организма. Таким образом, доказывается полезность принципов аскетизма. Наша цивилизация принимает глобальный, общечеловеческий характер, и поэтому надвигается такой момент, когда мир может погибнуть - от немедленного применения ядерного оружия или от постепенного отравления среды обитания человека. Следует также отметить, что и болезни глубокого дыхания и стрессы нервной системы человека снижают разум человека - в первую очередь поражают нервную систему и кору головного мозга. Поэтому, чем более развивается этот процесс, тем меньше человек понимает, что он самоуничтожается.

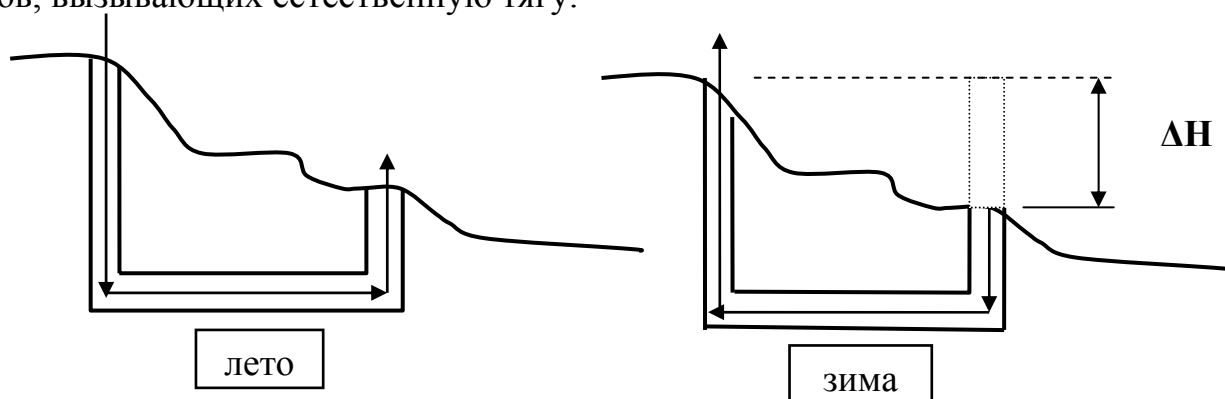
Фактически, это - теория жизни в эволюционном аспекте. По работам академика Опарина и Виноградова известно, что жизнь на земле возникла, когда атмосфера нашей планеты состояла из углекислого газа, а кислород практически отсутствовал. Из такой атмосферы возникло живое вещество и сам человек. И только позже, когда растения поглотили углекислоту и выделили кислород, атмосфера существенно изменилась. Углекислый газ из атмосферы исчез, его заменял кислород. **Для наших клеток необходимо примерно семь процентов углекислоты и два-три процента - кислорода. Воздух, окружающий нас, содержит примерно три сотых процента углекислоты, в двести раз меньше необходимого, и двадцать процентов кислорода, что в десять раз превышает норму. Значит, окружающий воздух стал ядовитым для нас.** Эволюция, можно сказать, спасла живое существо, в частности - человека, создав в его легких свою атмосферу. Поэтому мы живем. **А все животные, которые дышали кожей, потеряли углекислоту и погибли.** Такова эволюция животного мира. Причем в утробе матери каждый из нас повторяет ту же эволюцию. Содержание углекислоты у плода человека и - других животных во время нахождения в утробе матери в два раза больше, а кислорода - в пять раз меньше, чем у новорожденного и взрослого человека. Вот почему в утробе матери плод не болеет. Появившись на свет, несколько раз глубоко вздохнув и изменив свою среду, новорожденные начинают болеть. Таким образом, развитие каждого из нас повторяет развитие всего живого на Земле. Собственно, обоснование теории жизни можно начать с теории сотворения мира. **Теория жизни в кратком изложении такова: углекислый газ - основа питания всего живого на Земле; если он исчезнет из воздуха, всё живое погибнет. Он**

является главным регулятором всех функций в организме, главной средой организма. Он регулирует активность всех витаминов и ферментов. Если его не хватает, в частности при - глубоком дыхании, то все витамины и ферменты работают плохо, неполноценно, ненормально. В результате нарушается обмен веществ, а это ведёт к аллергии, раку, отложению солей и т.д.

I. АЭРОЛОГИЯ РУДНИКОВ И ШАХТ

Естественная тяга

Естественная тяга – это движение воздуха по выработкам под влиянием естественных факторов: ветра, разности отметок устьев шурфов (стволов) и давления столбов воздуха в сообщающихся выработках. Депрессия естественной тяги – это энергия, которую получает единица объёма воздуха от источников, вызывающих естественную тягу.



Так, зимой возникает естественная тяга за счёт более *тяжёлого* столба воздуха в низине (здесь атмосферное давление выше), а летом – за счёт более *высокой температуры* воздуха в низине (из-за адиабатического сжатия воздуха). Величину депрессии естественной тяги рассчитывают по формуле¹:

$$h_e = \frac{\gamma_{\text{ср}} \Delta H (t_{\text{вход}} - t_{\text{ср}})}{273 + t_{\text{ср}}}, \text{ Н/м}^2$$

где $\gamma_{\text{ср}}$ – средний удельный вес рудничного воздуха, $\gamma_{\text{ср}}=11,8 \text{ Н/м}^3$ (средняя плотность $1,2 \text{ кг/м}^3$); ΔH – разность отметок стволов, м; $t_{\text{вход}}$ – средняя температура наружного воздуха на отметке устья воздухоподающей выработки, $^{\circ}\text{C}$; $t_{\text{ср}}$ – средняя температура рудничного воздуха, $^{\circ}\text{C}$.

В настоящее время Правилами безопасности **запрещена вентиляция шахт только за счёт естественной тяги** – из-за неустойчивости количества и направления движения воздуха. Но естественная тяга может затруднять или облегчать вентиляцию шахты, составляя до 20-25% депрессии вентилятора главного проветривания, и её необходимо учитывать в расчёте напора (депрессии) вентилятора главного проветривания лишь как *негативный* фактор.

¹ Рудничная вентиляция: Справочник под ред. К.З.Ушакова.- М.: Недра, 1988 (с.115).

Рудничным – называется воздух, который заполняет горные выработки, это смесь атмосферного воздуха, поступающего с земной поверхности, активных газов и так называемого «мёртвого воздуха». «Мёртвый воздух» - это смесь двух газов N_2 и CO_2 . Содержание его в хорошо проветриваемых выработках обычно колеблется от долей процента до 5-10%, а в плохо проветриваемых – значительно превышает эти величины. По правилам безопасности в выработках, где могут находиться люди, должен быть следующий **состав рудничного воздуха**: кислорода – не менее 20%, углекислого газа – не более 0,5% на рабочих местах или 0,75% - на исходящей струе. **Содержание метана** не должно превышать: а) в исходящей струе из шахты, крыла – 0,75%; б) в исходящей струе из участка, очистного забоя и подготовительной выработки – 1,0%; в) в поступающей струе в очистные и подготовительные забои – 0,5%; г) местные (в отдельных местах) скопления – 2,0%. При обнаружении метана выше указанных пределов работа немедленно прекращается, люди выводятся на свежую струю, электроэнергия выключается.

Температура рудничного воздуха не должна выходить за пределы 2-26⁰С.

Если рудничный воздух по своему составу отличается незначительно от атмосферного – он называется свежим или чистым, а если значительно – то загрязнённым или отработанным.

Угольные шахты и рудники по относительной газообильности делятся на 4 категории. В соответствии с этим устанавливаются нормы подачи свежего воздуха.

Таблица 1

Категории **рудных шахт** по газообильности

Категория рудных шахт по газообильности	Относительная газообильность шахты по горючим газам (метан+водород), м ³ /м ³ горной массы
I	< 7
II	7 – 14
III	14 – 21
Сверхкатегорийные	≥ 21 и шахты, опасные по суфлярным выделениям

Примечание. Взрыв происходит при соотношении содержания трёх горючих газов («треугольник» из метана, водорода и кислорода) и кислорода - $C_{\Delta} = 0,5 * C_{\text{кислород}}$. Если соотношение содержания газов выше или ниже – взрыва не будет.

Рудничным газом называют метан, угольные шахты и рудники по относительной метанообильности также разделяются на 4 категории (см. табл. 2).

Главные ядовитые примеси рудничного воздуха:

1. **Оксид углерода CO** – газ без цвета, вкуса и запаха, образуется в шахтах при взрывных работах, рудничных пожарах, тлении горючих веществ, взрывах метана и угольной пыли, работе двигателей внутреннего сгорания. Вызывает

кислородное голодание человека и быстрое отравление организма. Пострадавших от СО необходимо вынести на свежую струю воздуха, при потере сознания – делать искусственное дыхание. Лучшей мерой предупреждения отравления – служит применение отбойки горной массы сжатым воздухом под давлением 700-900 атм. Нормы допустимых концентраций СО в воздухе – не более **0,0016%** в течение 6-7 часов и не более **0,008%** - при кратковременном воздействии. При такой концентрации разрешён доступ людей в забой после взрывных работ при условии, что в течение не менее 2 часов в него будет подаваться прежнее количество воздуха. Для непосредственного определения содержания СО в рудничном воздухе существует ряд газоопределителей: МакНИИ СО-3, дистанционный РДВ-2, экспресс-анализатор ГХ-1, оптико-акустический типа ОА и другие.

2. **Сероводород H_2S** – газ без цвета, со сладковатым вкусом и запахом тухлых яиц, весьма ядовит. Действует раздражающе на слизистую оболочку глаза и дыхательных путей. Последствия острых отравлений – хроническая головная боль, понижения мыслительной способности, заболевание печени и лёгких. Мероприятия к пострадавшему – те же, что и при отравлении СО. Допустимое содержание в воздухе – не более **0,00066%**. Появляется в шахтах в результате гниения древесины, разложения шахтными водами серосодержащих пород (гипс, сернистый колчедан и др.), выделяется из пластов калийных и других солей, из водных минеральных источников, пересекаемых выработками, а также образуется при горении огнепроводного шнура. Для определения содержания сероводорода в воздухе применяется прибор УГ-1.

3. **Сернистый газ SO_2** – бесцветен, обладает кисловатым вкусом и сильно раздражающим запахом, напоминающим запах горения серы. Запах ощутим при содержании газа 0,0002% и выше. При концентрации 0,05% наступает быстрая смерть. Сернистый газ образуется при взрывных работах в серосодержащих породах, из сульфидных пород, угля, иногда засасывается с поверхности, если вблизи расположены ж/д депо, горящие отвалы пустых пород. Мероприятия к пострадавшему – те же. Допустимое содержание в воздухе – не более **0,00035%**. Для определения содержания SO_2 существует высокочувствительный газоопределитель МакНИИ.

4. **Двуокись азота NO_2** – газ без вкуса красно-бурого цвета с характерным чесночным запахом, чрезвычайно ядовит. Действует раздражающе на органы дыхания, вызывая тяжёлый удушающий кашель и отёк лёгких. Содержание в воздухе не должно превышать **0,00025%**. Для определения окислов азота применяют приборы инженера Гидаспова, комбинированный газоопределитель ГХ.

5. **Выхлопные газы** – состоят из многих компонентов, образуются при неполном сжигании топлива - окисления серы, разложения сложных эфиров смазочных масел и т.п. Эксплуатация дизельного оборудования допускается при условии устройства скрубберов, наполненных водным раствором химикатов для очистки от **альдегидов** (они раздражают слизистые оболочки глаз, носа, горла), **акролеина** и других ядовитых газовых компонентов. Запуск двигателей должен осуществляться от баллонов со сжатым воздухом или маховика, заправка двигателей – только в спецкамере со средствами пожаротушения.

Участки должны иметь обособленную схему проветривания и должен производиться несколько раз в смену контроль состава воздуха.

6. **Акролеин** (CH_2CHCHO) – бесцветная, легко испаряющаяся жидкость, пар акролеина ядовит: раздражает слизистые оболочки, вызывает головокружение, рвоту, боли в желудке; образуется при разложении дизельного топлива при высокой температуре. Опасное для жизни содержание акролеина в воздухе при десятиминутном вдыхании – 0,014%, ПДК – 0,000009%.

7. **Метан** (CH_4) – газ без цвета, вкуса и запаха, сильно горюч и взрывоопасен (в сочетании с пылью). Максимальная относительная метанообильность шахт – 35 м³/т - возможна в Кузнецком, Карагандинском и юго-западной части Донецкого бассейна. Действие метана на человека подобно воздействию азота: он становится вредным при высоком содержании его в воздухе, т.к. он вытесняет кислород, слабо растворим в воде - около 3,5% при температуре 21⁰С и нормальном давлении, лучше растворяется при понижении температуры и увеличении давления. При малых долях метана в воздухе (до 4-6%) он горит бледно-голубым пламенем, при больших (более 14-16%) – синевато-голубым. Встречается на угольных шахтах на средних и больших глубинах. Интенсивное газовыделение приводит к необходимости нерациональной подачи громадных объёмов свежего воздуха в шахту, поэтому целесообразно производить дегазацию – предварительное извлечение из массива метана искусственным путём: длинными опережающими забой скважинами (с отсасываем газа или без) или подготовительными и нарезными выработками. **Дегазация обязательно используется при газообильности участка более 3 м³/мин.**

Для определения концентрации метана и углекислого газа применяется шахтный интерферометр типа ШИ-3, ШИ-5, МР-5М, ЛИ-4, СМП-1 (переносной сигнализатор) и другие.

Таблица 2

Категории угольных шахт по метанообильности

Категория шахты по метану	Относительная метанообильность шахты, м ³ /т
I	< 5
II	5-10
III	10-15
Сверхкатегорийные	≥ 15 и шахты, опасные по суффлярным выделениям
Опасные по внезапным выбросам	Шахты, разрабатывающие пласты, опасные по выбросам угля и газа, выбросам породы

Предотвращение метановыделения и воспламенения:

- разбавление метана свежим воздухом за счёт общешахтной нагнетательной вентиляции и *местной всасывающей* (это главное требование!), чтобы создать разряженное давление в забое;
- изоляция выработанного пространства;
- контроль за состоянием проветривания;
- дегазация пластов опережающим бурением скважин и шпуров, нагнетанием в пласт воды (до гидроразрыва), применяют при выделении метана более 3-4

м³/мин, например, с использованием вакуум-насосных и газоотсасывающих установок;

- дегазация выработанного пространства;
- запрет на открытый огонь в шахте, взрыво- и искробезопасное исполнение горного оборудования;
- при взрывной отбойке использовать только предохранительные патронированные ВВ с электродетонаторами при интенсивном проветривании забоя.

Таблица 3

Предельное содержание метана в горных выработках

Подземные горные выработки	Предельное содержание, %
В исходящей струе из очистной или тупиковой выработки, камеры, лавы	1
В исходящей струе крыла шахты	0,75
В свежей струе, поступающей в тупиковые, очистные выработки, камеры, лаву	0,5
Местные скопления метана в выработках	2

Рудничная пыль – это мельчайшие частицы твёрдого минерального вещества, способные достаточно длительное время находиться в воздухе во взвешенном состоянии (**аэрозоль**), осевшую пыль на почве и бортах выработок – называют **аэрогелем**. При скорости движения струи воздуха **более 4-5 м/с происходит сдувание** слежавшейся пыли со стенок выработок. В качестве основной единицы измерения запылённости воздуха принята весовая концентрация. Существуют нормы предельно-допустимой концентрации различных видов минеральной пыли, вызывающей различные тяжёлые заболевания. Для измерения и контроля запылённости рудничного воздуха применяются пылемер – МакНИИ ФПГ-6, Ф-1, различные счётчики типа ТВК, СН, приборы для определения взрывчатых свойств угольной пыли типа ПКО-1м.

1. **Угольная пыль.** Наиболее взрывчата тонкодисперсная пыль размером менее 0,1-0,06 мм. С увеличением содержания летучих веществ до 15-30% взрывчатые свойства угольной пыли возрастают. Температура воспламенения пыли – около 550⁰С.

Нижний предел концентрации **пыли, взвешенной** в рудничном воздухе, при которой она взрывается, составляет 10-300 г/м³ (для каменных углей он равен 20-25 г/м³, для некоторых бурых углей – 10-15 г/м³, для угля марки ПА - 300 г/м³). Нижний предел взрывчатости **отложившейся пыли** в 2,5 раза больше, чем для взвешенной пыли. При зольности 60-90% или при влажности более 40%, а также при содержании пыли в рудничной атмосфере более 1 кг/м³ - угольная пыль не взрывается.

Присутствие метана в рудничном воздухе значительно повышает степень взрывчатости взвешенной пыли:

Объёмная доля метана в воздухе, %	0,5	1	1,5	2	2,5	3
Нижний предел взрывчатости угольной пыли в рудничном воздухе, г/м ³	30	20	15	10	8	5

2. Сланцевая пыль – всё то же самое, но величины концентрации – другие. Нижний предел взрываемости в зависимости от количества летучих веществ изменяется от 6 до 400 г/м³, для отложившейся пыли предел взрываемости – 75 г/м³.

Предотвращение взрыва угольной и сланцевой пыли:

- применение очистных комбайнов с резанием крупными стружками (будет меньше тонкодисперсных частиц), с увлажнением угля, сланца;
- осаждение пыли водяными завесами;
- интенсивное проветривание;
- побелка обнажённых на длительное время участков массива угля и сланца.

Расход сланца при создании противопылевых защитных мероприятий

Вид защиты	Неметановые пласты	Метановые пласты
Минимальный процент негорючих веществ в инертной пыли, %	70	80
Расход сланца на площадь сечения выработки, кг/м ²	200	400

3. Серная (сульфидная) пыль – нижний предел взрываемости колеблется от 5 до 15 г/м³ при концентрации частиц серы более 40% с размерами менее 0,1 мм. К опасным по взрывам относятся шахты, на которых добывают руды с содержанием серы более 12% (I группа) и более 18% (II группа). Предотвращение взрывов обеспечивается смыванием серной пыли со стенок забоя и применением предохранительных ВВ, электродетонаторов и электрооборудования в искрогасящем исполнении.

Таблица 4

Нормы предельно допустимых концентраций (ПДК) пыли в рудничном воздухе

Вид пыли	ПДК, мг/м ³
Пыль, содержащая более 70% свободной SiO ₂ в её кристаллической модификации	1,0
Пыль, содержащая от 10 до 70% свободной SiO ₂	2,0
Асбестовая пыль и пыль смешанная, содержащая более 10% асбеста	2,0
Пыль силикатов, содержащая менее 10% свободной SiO ₂	4,0
Пыль барита, апатита, фосфорита, цемента, содержащая менее 10% SiO ₂	5,0
Пыль угольная, содержащая до 10% свободной SiO ₂	4,0

Пыль угольная, не содержащая SiO ₂	10,0
-----------------------------------------------	------

Для **пылеподавления** при различных производственных процессах применяются технические средства и технологические мероприятия (см. табл. 5):

- рациональные схемы вскрытия и системы разработки;
- снижение диаметра бурового инструмента;
- бурение шпуров с промывкой (расход воды на перфоратор от 5 до 10 л/мин);
- осаждение пыли водяной завесой (переносными оросителями с расходом 0,1-0,2 л/с);
- сокращение вторичного дробления;
- сухое пылеулавливание, пылеуловителями типа ВНИИ-1м-60, ДСН-3, УПЗ, ПВ-1 и другими;
- нагнетание воды в угольный пласт;
- вентиляция общешахтная и местная;
- индивидуальные средства защиты от пыли...

В рудниках и шахтах возможно **горение** крепи, смазочных материалов, электрооборудования, угля, сернистых руд. Профилактика пожаров заключается, прежде всего, в недопущении окисления кислородом горючих веществ: полная изоляция выработанного пространства, заиливание отбитой руды, закладка пустот, изоляция горючих целиков. **Тушение пожаров** чаще всего производится за счёт разбора очага пожара и применения огнетушителей, реже – за счёт самозатухания при ограничении доступа кислорода к месту пожара.

Таблица 5

Классификация способов борьбы с рудничной пылью²

№	Классификационный признак	Способ борьбы с пылью	Оборудование, параметры использования способа борьбы	Область применения
1	Исключение (или значительное уменьшение) образования пыли косвенным методом	Применение отбойных органов крупного скола	Шнековый исполнительный орган, длинный и короткий забой	При разработке угля
		Предварительное нагнетание в пласт воды или растворов (без гидро-разрыва)	Насосные установки, буровой станок, дозаторы. Добавки в воду: смачиватель ДБ (0,2-0,5%), глицерин (или катамин 0,2-1%) индустриальное масло (0,2-2%), жидкое стекло (0,1-0,9%) и др. Параметры: длина скважин до 25 м, диаметр 45-55 мм, расстояние между скважинами 10-30 м, удельный расход воды 10-40 л/т, давление 29 МПа, темп нагнетания – до 30 м/мин	При разработке угля и руды
2	Пылеподавление при её образовании	Применение высоконапорных форсунок	Конусная форсунка, фильтр, редуктор. Давление воды 5,8-9,7 МПа, расход воды 15-20 л/т, добавки смачивателя ДБ	Поверхность шахт и карьеров, угольные комбайны
		Пневмогидроподавление	Краны-тройники, рукава для подачи воды и сжатого воздуха. Давление воды и сжатого воздуха 0,48-0,58 МПа, расход соответственно 25 л/т и 0,4 м ³ /т	Очистные и проходческие комбайны. Уголь и породы I-VII групп запылённости

² Машковцев И.Л., Балыхин Г.А. Аэрология и охрана труда на шахтах и в карьерах. – М.: изд. УДН, 1986, 312 с.

		Подавление пеной	Пена различного содержания, пеногенераторы. Расход 3% раствора пенообразователя 12-15 л/т при комбайновой выемке	
3	Улавливание распространившейся в воздухе пыли	Орошение	<ol style="list-style-type: none"> 1. Туманообразователи. Расход воздуха не менее 50 м³/с 2. Водяные завесы – однорядные и многорядные ВЗ—1, ВЗ-2. Расход воды не менее 0,1 л/м³ проходящего воздуха 3. Завеса с ионизацией воды электрическим зарядом 2,7*10⁻⁶ К*л/г, процент улавливания пыли размером 0,7-5,6 мкм – 60% 	Поверхность шахт и карьеров, горные выработки, места перегрузки
		Сухое пылеулавливание	<ol style="list-style-type: none"> 1. Шахтный пылесос, 130 м³/мин, очистка на 96% 2. Аспираторный улавливатель: ткань, инерционная ультразвуковая или гидроакустическая камера 	Пласты угля V-VII групп запылённости Породы. Глубокие горизонты. Калийные шахты
4	Нейтрализация осевшей пыли	Связывание пыли полимерами, растворами	<ol style="list-style-type: none"> 1. Водный раствор полимера К-4 2. Битумная эмульсия 3. Раствор хлористого кальция (20-35%) и смачиватель ДБ (1-2%) 	Бока выработок, почва, борта карьеров, стволы
5	Нейтрализация условий воспламенения	Применение перегретого пара	Специальный взрываемый термостат. Температура перегретой воды 190-200 ⁰ С. Расход воды при сечении выработки 8 м ² 30-40 кг, пара 9-12 м ³ . Полная нейтрализация площади 30-40 м ²	Для борьбы со взрывными газами в выработках

		Применение бикарбоната натрия	Порошок ПСБ-2 во взрываемых пакетах, расход 420 г/м ³	
6	Локализация взрывов пыли	Осланцевание выработок (или побелка)	Добавка в пыль инертных веществ (смесь известняка, доломита, ракушечника). Норма осланцевания – минимальное количество инертных, необходимое для нейтрализации взрывчатых свойств.	Для предотвращения взрывов осевшей пыли
		Установка сланцевых (или водяных) заслонов	Инертная пыль (или вода) заполняет сосуды, легко опрокидывающиеся при взрыве, или управляемые. Нормы инертной пыли в сланцевых заслонах 400 кг/м ² сечения основной выработки и 200 кг/м ² сечения других выработок. Расход воды в сланцевых заслонах - 120 л/м ² . Основные сланцевые заслоны устанавливаются на расстоянии не менее 60 м и не более 300 м от забоев (водяные заслоны – соответственно на расстоянии 75-250 м от забоев).	Горные выработки

Климатические условия в шахтах

Климатическими условиями называют определённое сочетание физических параметров рудничной атмосферы: температуры, относительной влажности, теплоотдачи пород, давления и подвижности воздуха. Эти параметры оказывают существенное влияние на самочувствие и работоспособность людей.

Температура рудничного воздуха – зависит от теплоотдачи горных пород, их окисления, сжатия воздуха при опускании по стволу (на каждые 100 м глубины температура повышается на $0,7^{\circ}\text{C}$ во влажных и на 1°C – в сухих стволах). Кроме того, тепло выделяется при работе механизмов, дыхании людей, из шахтных вод... Возрастание температуры горных пород происходит с увеличением глубины работ. Снижение температуры рудничного воздуха происходит лишь в процессе проветривания, за счёт скорости движения струи. Для определения температуры используют термометры и термографы, манометрический дистанционный термометр.

Общее тепловыделение составляет:

$$T_{\text{общ}} = T_{\text{пород}} + T_{\text{люди}} + T_{\text{маш}} + T_{\text{сж}} + T_{\text{ок}}, \text{ кДж/ч}$$

где $T_{\text{пород}}$ – тепловыделение горных пород;

$T_{\text{люди}}$ – тепловыделение людей (теповыделение одного человека составляет $q=700-1000$ кДж/ч);

$T_{\text{маш}}$ – тепловыделение от машин

$$T_{\text{маш}} = 1000 N k_{\text{э}} k_{\text{заг}} 3,6 \cdot 10^3, \text{ кДж/ч}$$

где N – суммарная мощность электроустановок, кВт;

$k_{\text{э}}$ – коэффициент перехода электроэнергии в тепловую, 0,2-0,4;

$k_{\text{заг}}$ – коэффициент загрузки, 0,3-0,9;

$T_{\text{сж}}$ – тепловыделение от сжатия вентиляционной среды (при нагнетании);

$T_{\text{ок}}$ – тепловыделение от окисления пород.

Давление рудничного воздуха - с увеличением глубины горных работ в шахтах возрастает, на каждые 100 м – примерно на 9 мм ртутного столба. Для измерения его используются барометры (ртутные, anerоиды и пружинные), барографы и другие автоматические приборы.

Влажность воздуха – различают абсолютную и относительную влажность воздуха. Для замера применяются психрометры парных термометров, психрометры с вентилятором, гигрометры и гигрографы. В среднем в угольных шахтах влажность составляет 80-90%, в калийных шахтах – от 15 до 60%.

Подвижность рудничного воздуха – чем больше скорость воздушной струи, тем больше она уносит тепла со стен выработок (табл. 6). Но нельзя произвольно повышать скорость струи, т.к. это приводит к сдуванию осевшей в выработках пыли. Верхний предел скорости движения воздуха строго регламентирован.

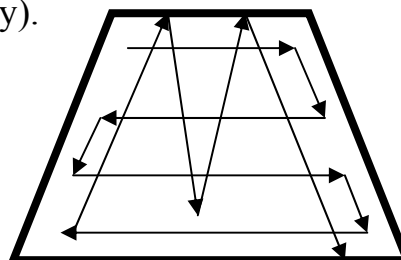
Таблица 6

Скорость воздушной струи, в зависимости от температуры

Температура воздуха, $^{\circ}\text{C}$	Скорость воздушной струи, м/с
-----------------------------------------	-------------------------------

до 15	0,3 - 0,5
15-20	не выше 1,0
20-22	не менее 1,0
22-24	не менее 1,5
24-25	не менее 2,0

Скорость движения воздуха замеряют **анемометрами**: крыльчатыми и чашечными. В подземных горных выработках замеры осуществляют методом обвода поперечного сечения (см. схему).



Влияние климатических условий на людей

При повышенном атмосферном давлении человек чувствует прилив сил и желание работать, а при пониженном давлении – наоборот, чувствует желание прилечь и выспаться (поэтому нагнетательный способ проветривания заведомо *лучше* всасывающего). В состоянии покоя человек выделяет 70-85 ккал в час, а при физической работе – до 400-500 ккал/ч. С глубиной растёт температура пород и соответственно воздуха, температурный градиент находится в диапазоне от 33 до 100 м⁰С. Для облегчения деятельности человека производят кондиционирование воздуха (до диапазона комфортной температуры 16-22⁰С): а) за счёт сокращения длины вентиляционных путей; б) путём применения холодильных машин. Для контроля климатических условий применяются шкалы:

- эффективных температур;
- эквивалентно-эффективных температур;
- объективных физиологических показателей;
- комфортных условий;
- кататермометру (определяет теплоощущения человека при комбинации температуры, влажности и скорости движения воздуха).

Основные понятия шахтной аэродинамики

В воздушном потоке по горным выработкам действуют поверхностные (движущийся поток оказывает **динамическое** давление на преграду) и объёмные силы (вес воздуха вызывает **аэростатическое** давление) – см. рис. 2.

Движение воздуха по выработкам может быть ламинарным и турбулентным. **Ламинарное** – характеризуется небольшой скоростью потока (до 0,01 м/с) и параллельными траекториями движения частиц, без их перемешивания. **Турбулентное** – беспорядочное и переменчивое движение перемешивающихся в потоке частиц, т.к. по Правилам безопасности скорость должна быть не менее 0,25 м/с, то в горных выработках всегда турбулентное движение.

Различают воздушные потоки двух типов: **ограниченные** (с твёрдыми границами – бортами и стенками выработок) и **свободные струи** (без твёрдых границ).

В воздухе действуют силы межмолекулярного сцепления, вызывающие его **молекулярную вязкость** (касательные напряжения по стенкам выработки), и силы давления, вызывающие появление нормальных напряжений (давление на препятствие потоку). Отсюда появление двух видов **аэродинамического сопротивления** потоку: силы трения о стенки и силы давления на препятствие (местные и лобовые сопротивления). **Местные** сопротивления вызываются резкими (местными) изменениями формы, размеров и направления внешних границ потока: расширение, сужение, повороты, места разветвления выработок. **Лобовое** сопротивление вызывается препятствиями: армировка стволов, крепь выработок.

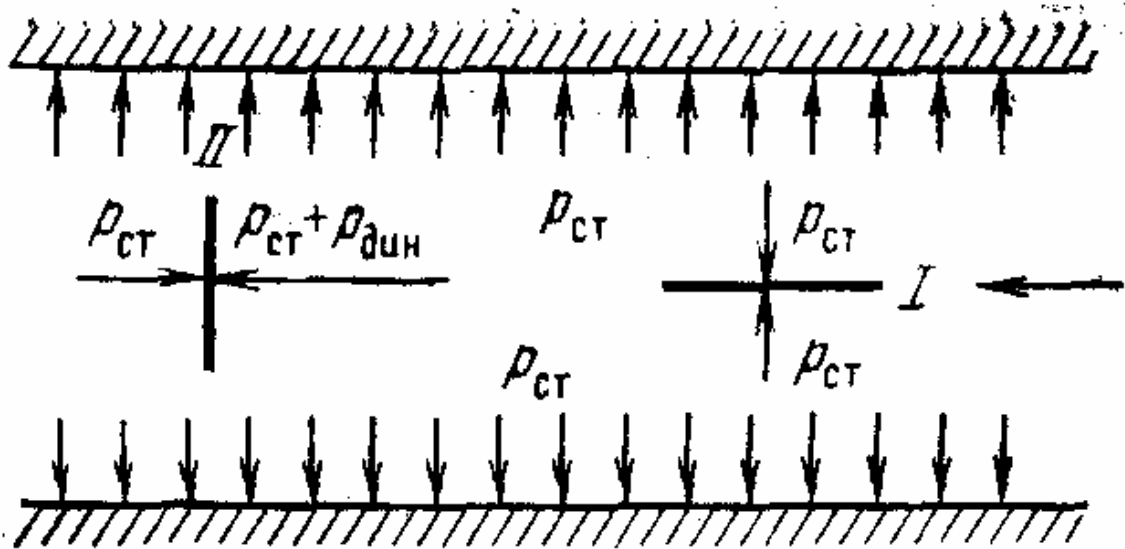


Рис. 2. Аэростатическое и динамическое давление в воздушном потоке

Депрессия (или напор) h - потеря давления - зависит от расхода воздуха Q и от суммы аэродинамических сопротивлений всех выработок ΣR по самому длинному пути движения конкретной воздушной струи в шахте, направлению (если струй несколько, то депрессия каждой тоже суммируется) – см. табл. 7:

$$h = \Sigma R \cdot Q^2, \text{ Па}$$

где ΣR – сумма местных аэродинамических сопротивлений, $\text{Н} \cdot \text{с}^2 / \text{м}^8$:

$$R = \frac{\alpha P L}{S^2} - \text{для протяжённых участков}$$

$$R = \frac{\xi \rho}{2 S_1^2} - \text{для участков расширения, сужения, поворотов выработок}$$

ботки

α - коэффициент аэродинамического сопротивления трения, выбирается по таблицам³ в зависимости от типа выработки, вида крепи (табл. 8), $H \cdot c^2 / m^4$ (находится в диапазоне от $0,006 H \cdot c^2 / m^4$ - для горизонтальной выработки без крепи до $0,3 H \cdot c^2 / m^4$ - для закреплённой лавы); P - периметр поперечного сечения выработки, м; L - длина выработки, м; S и S_1 - площадь поперечного сечения протяжённой выработки и выработки в узком сечении, m^2 ; ξ - коэффициент внезапного расширения (сужения) сечения, поворотов выработки (составляет определённую долю от коэффициента аэродинамического сопротивления трения), $H \cdot c^2 / m^4$; ρ - плотность воздуха (средняя плотность рудничного воздуха составляет $\rho = 1,2 \text{ кг/м}^3$), kg/m^3 ; Q - расход воздуха, m^3/c .

Таблица 7

Форма для подсчёта депрессии рудника (шахты) по направлениям

№	Наименование выработки, участки расширения или сужения, поворотов	Коэффициент аэродинамического сопротивления, α , $H \cdot c^2 / m^4$	Длина выработки, L , м	Сечение выработки, S , m^2	Периметр выработки, P , м	Расход воздуха, Q , m^3/c	Скорость вентиляционной струи, V , м/с	Аэродинамическое сопротивление, R , $H \cdot c^2 / m^8$
1 вариант направления движения струи								
	Всего:							
2 вариант направления движения струи								
	Всего:							

Если на руднике наблюдается существенная естественная тяга, то она обязательно должна быть учтена – *увеличена* величина общешахтной депрессии.

Таблица 8

Значения коэффициента аэродинамического сопротивления α

Условия проведения выработки	$\alpha \cdot 10^3$, $H \cdot c^2 / m^4$
Незакреплённые выработки	
Медные рудники Урала	12,7-17,6
Никелевые рудники	14,7
Апатитовые рудники	9,8-11,7
Калийные шахты	7,8-9,8
Угольные шахты	7,8-9,8 (по породе) 4,9-7,8 (по углю)
Закреплённые выработки	
Штрек (Криворожский бассейн): - монолитная бетонная крепь	2,4-5,3

³ Рудничная вентиляция: Справочник под ред. К.З.Ушакова.- М.: Недра, 1988. – 440 с.

- торкретбетон	14,3-20,1
- анкера и торкретбетон	15,4
- анкера и сетка	9,2
- анкера	8,0
Штрек, закреплённый НДО	10,5-19,1
Штрек, закреплённый СВП	12,8-17,3
Штрек, закреплённый двутаврами	13,7-27,1
Штрек со сборной железобетонной крепью	6,9-22,6
Штрек с конвейером (ширина ленты 1200 мм), закреплённый НДО	20,7-30,8 (сечение 12 м ²) 17,1-26,9 (сечение 14 м ²)
Штрек с конвейером (ширина ленты 1200 мм), закреплённый СВП	18,0-26,0 (сечение 12 м ²) 14,0-19,0 (сечение 14 м ²)
Лавы с механизированной крепью, площадью сечения лавы в черне, м ² :	
- 3,0-4,0	100-61
- 4,0-6,0	61-55
- 6,0-8,0	55-40
- 8,0-11,0	40-30
Ствол, закреплённый монолитным бетоном	1,5-2,7
Ствол, закреплённый сборным железобетоном	8-13,7
Вентиляционный рукав:	
- из текстолита	0,13-0,16
- из спецткани марки М или МУ	0,25-0,35

Утечки воздуха (потери) в шахтах могут достигать огромной величины – до 50-60% всего количества поданного воздуха: из них 44% теряется в выработанном пространстве и 56% - через вентиляционные сооружения (стволы, надшахтные здания...).

Также совокупность аэродинамического сопротивления может характеризоваться как воображаемое **эквивалентное отверстие А** (см. глоссарий терминов и рис. 3):

$$A = \frac{Q}{\psi \sqrt{\frac{2h}{\rho}}} = 0,121 \frac{Q}{\sqrt{h}}, \text{ м}^2$$

где ψ – коэффициент, равный для круглого отверстия 0,65; ρ – плотность рудничного воздуха, обычно 1,2 кг/м³; h – депрессия, Па.

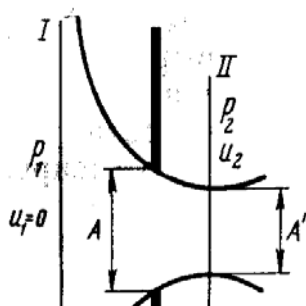


Рис. 3. Схема к определению эквивалентного отверстия А

Считается, что для легкопроветриваемых шахт $A > 2 \text{ м}^2$, для шахт средней трудности проветривания $1 < A < 2$, для труднопроветриваемых $A < 1$.

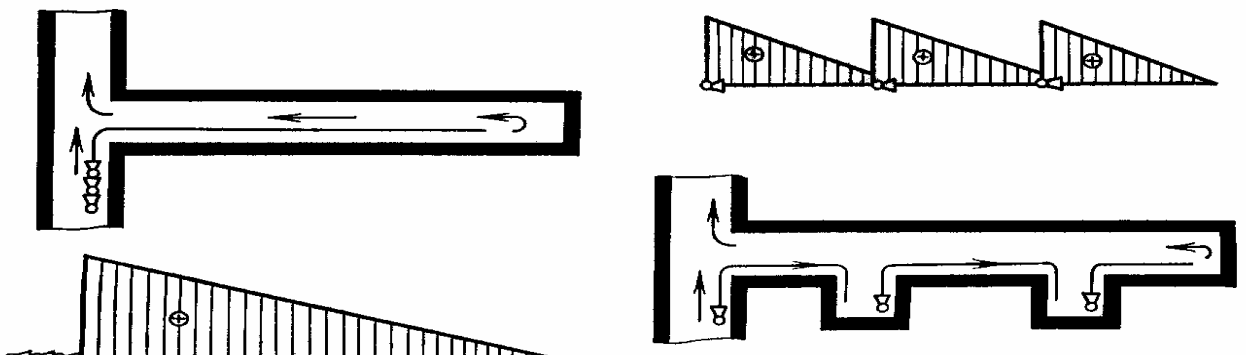
ШАХТНЫЕ ВЕНТИЛЯЦИОННЫЕ СЕТИ

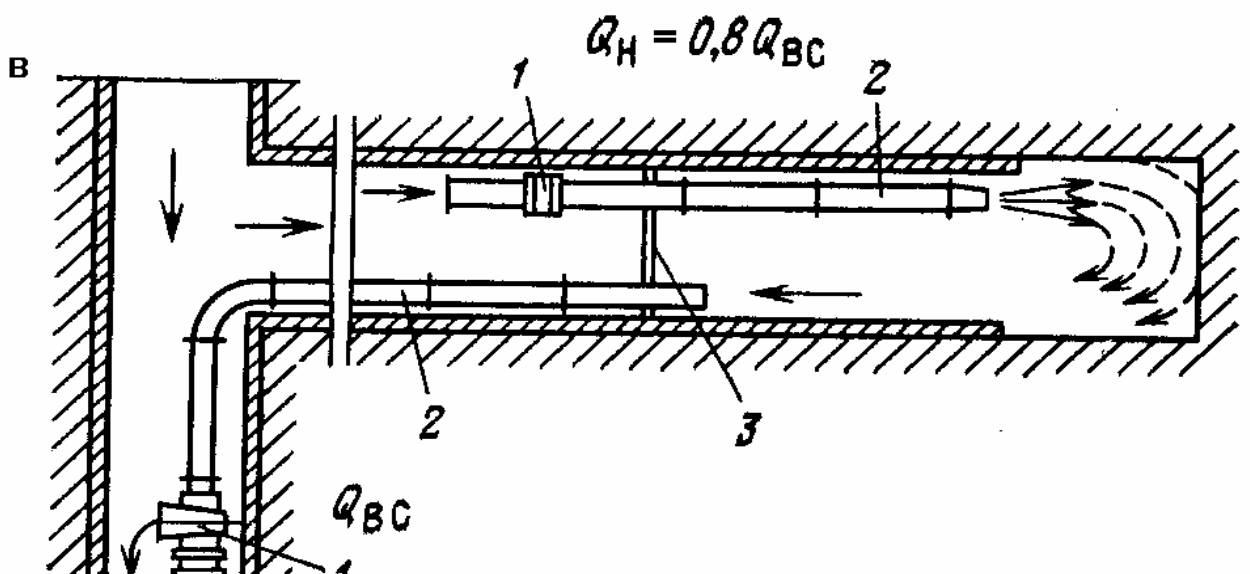
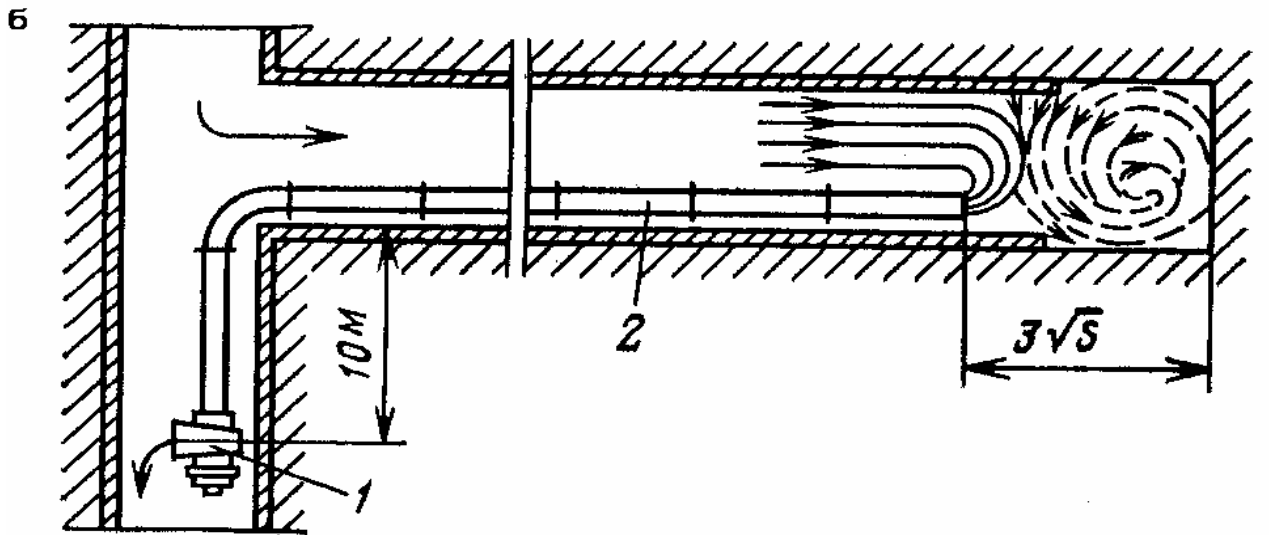
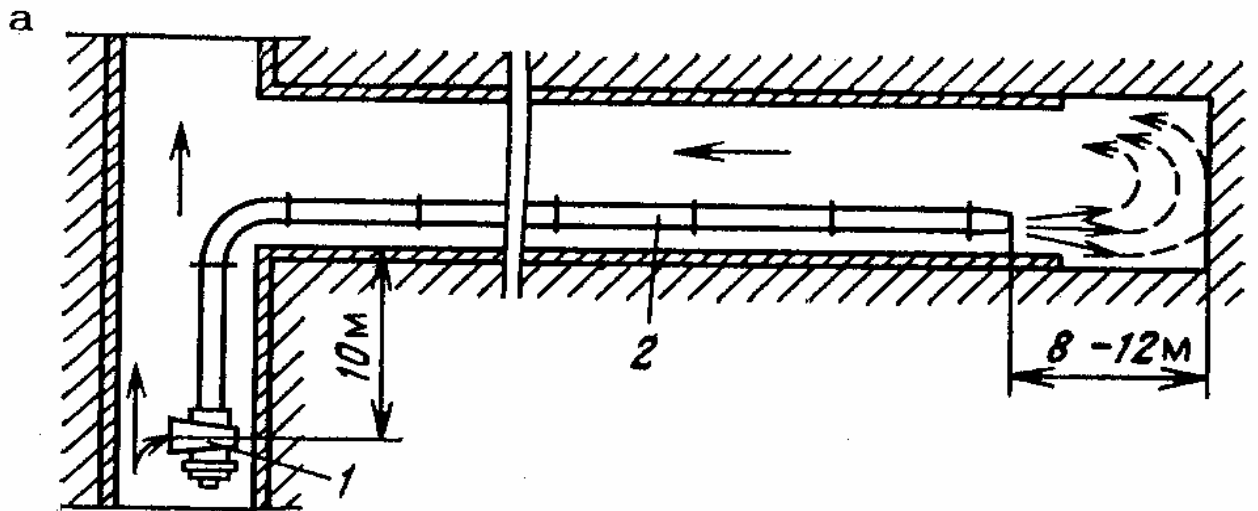
Проветривание шахты осуществляется путём создания воздушного потока в сети горных выработок. Принятое направление воздушных потоков в сети определяет схему проветривания шахты и отдельных ее участков. В шахтную вентиляционную сеть входят горные выработки и сооружения, по которым движется воздух, а также выработки, вентиляционные сооружения и выработанное пространство, через которые просачивается атмосферный воздух. Направление воздушных потоков осуществляется с помощью вентиляционных сооружений (вентиляторы, перемычки, двери, трубопроводы, кроссинги и др.).

Воздушные потоки, потоки вредных примесей (газов, пыли, тепла), вентиляционная сеть, вентиляционные сооружения и источники тяги в сети образуют шахтную вентиляционную систему, которая характеризуется схемой движения воздуха в сети, интенсивностью вентиляционного процесса (обмена и переноса массы и энергии), аэродинамическим режимом воздушных течений. Её главными параметрами являются концентрация вредных примесей в шахтной атмосфере, объёмные дебиты воздушных потоков (воздухораспределение в сети), аэродинамические сопротивления горных выработок и сооружений, депрессия источников механической и естественной тяги. Шахтная вентиляционная система обычно находится в квазистационарном состоянии (т. е. в среднем стационарна).

Проветривание тупиковых проходческих забоев

Проветривание в тупиковых забоях осуществляется вентиляторами местного проветривания типа ВМ – см. рис. 4 и 5. Вентиляторы обычно устанавливаются на свежей струе воздуха (на расстоянии **не ближе 10 м** от начала тупиковой выработки), при этом чаще используется *нагнетательная* схема проветривания (только *не в газообильных* забоях).





Расчёт параметров проветривания тупиковых проходческих забоев (например, при строительстве тоннелей):

1. Отставание вентиляционного трубопровода от забоя не должно превышать: 5 м - для восстающих и стволов; 8 м – для газовых шахтах и рудниках; 10 м – для остальных рудников (расстояние конца вентиляционной трубы от груди забоя растёт в зависимости от площади поперечного сечения $L=15-40$ м), обычно

$$L_{от} = 0,5\sqrt{S}$$

$$L_{от} < 4\sqrt{S}$$

, м

где S – площадь сечения выработки в свету, m^2 .

2. Количество потребного воздуха в забое:

- по максимальному количеству постоянно находящихся людей (M) в забое $Q_3 = 6 * M$, $m^3/мин$;

- по количеству взрываемого ВВ (если при проходке применяется сварка, то дополнительно рассчитывается расход воздуха ещё и по критерию сварочных работ)

$$Q_3 = \frac{2.25 S}{60 t} \sqrt[3]{\frac{k A b L^2}{S \rho^2}} , m^3 / c$$

где t – время проветривания (не более 30 мин.); k – коэффициент обводнённости выработки (для сухих выработок $k=0.8$, для влажных $k=0,6$); A – количество взрываемого ВВ за цикл, кг; b – степень газовыделения ($b=100$ л/кг при взрывании по углю и $b=40$ л/кг при взрывании по породе); L – длина тупиковой части выработки, м; ρ – коэффициент потерь воздуха (при длине прорезиненных труб от 100 до 800 м коэффициент возрастает с $\rho = 1,07$ до $\rho = 1,43$).

- при работе двигателей внутреннего сгорания ($m^3/мин$):

$$Q_3 = 6 * N \text{ при дизельном и } Q_3 = 5 * N \text{ при бензиновом двигателе}$$

где N – мощность двигателя, л.с.

3. Потребная подача вентилятора рассчитывается с учётом потерь воздуха

$$Q_{\text{вент}} = \rho * Q_3, \text{ м}^3/\text{мин или м}^3/\text{с}$$

где ρ - потери воздуха, могут достигать 50-60%, поэтому $\rho = 1,5 \div 2$.

4. По потребной подаче выбирается вентилятор местного проветривания с регулируемой подачей и депрессией от 800 до 3000 Па:

Показатели	ВМ-3М	ВМ-4М	ВМ-5М	ВМ-6М	ВМ-8М	ВМ-12М
Диаметр трубопровода, мм	300	400	500	600	800	1200
Производительность (подача, дебит), м ³ /с						
- оптимальная	1,1	1,9	3,2	5,7	10	20
- в рабочей зоне	0,7-1,7	0,8-2,6	1,7-4,7	2,3-8	4-13	10-32
К.п.д.	0,7	0,72	0,75	0,76	0,76	0,76
Полное давление, кПа	1-0,4		2,4-0,6		4,2-0,8	3,8-0,8
Потребляемая мощность, кВт	1-2,2		5-13		15-50	40-110
К.п.д.	0,5		0,67		0,68	0,71
Напряжение, В	380 / 660					
Масса, кг	80	140	250	350	750	2300

С увеличением длины трубопровода увеличивается не только аэродинамическое сопротивление в нём (в 1,5-2 раза на каждые 100 м), но и утечки воздуха – каждые 100 м на 5-7 %.

Если есть необходимость увеличить расход воздуха, то вентиляторы устанавливают параллельно, если же надо усилить депрессию – то ставят вентиляторы последовательно.

Оптимальная длина трубопровода на один вентилятор равна:

$$L_{\text{тр}} = \frac{R_{100} (Q_{\text{в}} - Q_3)}{100 h_{\text{в}}}, \text{ м}$$

где R_{100} – сопротивление стандартного трубопровода длиной 100 м, определяется по таблицам, Н*с²/м⁸;

$Q_{\text{в}}$ - подача, дебит вентилятора, должен быть $Q_{\text{в}} = (1,5-2,5) * Q_3$, м³/с;

Q_3 - расход воздуха для разбавления газа, выделяющегося непосредственно в забое, м³/с;

$h_{\text{в}}$ – депрессия, напор вентилятора, Н*с/м⁵.

Площадь поперечного сечения любой выработки проверяется на скорость движения струи воздуха, которая не должна превышать предельных значений:

$$\frac{Q}{[v_{\max}]} \leq S \leq \frac{Q}{[v_{\min}]}, \text{ м}^2$$

$$Q = \frac{e A_{\text{см}} b_{\Gamma} 100 k_{\text{зап}}}{1000 c T 60}, \text{ м}^3/\text{с}$$

где Q – максимальное потребное количество воздуха в шахте, $\text{м}^3/\text{с}$; e – ориентировочный расход ВВ на отбойку, $e=0,3-0,5$ кг/т; $A_{\text{см}}$ – сменная производительность шахты по руде, т/см; b_{Γ} – количество ядовитых газов, выделяемых при взрыве 1 кг ВВ, обычно $b_{\Gamma}=40$ л/кг; $k_{\text{зап}}$ – коэффициент запаса, обычно $k_{\text{зап}}=1,3-1,4$; c – допустимая концентрация газов (по СО), $c=0,08\%$; T – минимальное время на проветривание, $T=30$ мин.; $[v_{\min}]$ – минимальная скорость движения воздуха, равна $0,25$ м/с, а также

$[v_{\min}] = 0,7$ м/с – в штреках, оборудованных ленточным конвейером;

$[v_{\min}] = 0,15$ м/с при сечении тоннеля $S < 24 \text{ м}^2$

$[v_{\min}] = 0,10$ м/с при сечении тоннеля $S > 24 \text{ м}^2$

$[v_{\max}]$ – максимальная скорость движения воздуха по горным выработкам:

- в квершлагах, вентиляционных и откаточных штреках – 8 м/с;
- в очистных, нарезных и подготовительных выработках – 4 м/с;
- в людских стволах – 8 м/с;
- в грузовых стволах – 8 м/с;
- в вентиляционных шурфах без лестничного отделения – 12 м/с;
- в вентиляционном канале – 15 м/с.

Расчёт параметров проветривания тупиковых *очистных* забоев

- по разжижению продуктов взрыва до безопасного содержания ($0,008\%$ СО), при нагнетательном проветривании

$$Q = \frac{21,4 \sqrt{Q_{\text{ВВ}} V_{\text{В}}}}{t_{\text{пр}}}, \text{ м}^3/\text{мин}$$

где $t_{\text{пр}}$ – время проветривания, мин; $Q_{\text{ВВ}}$ – расход ВВ, кг; $V_{\text{В}}$ – объём проветриваемой выработки, м^3 .

- при применении самоходного оборудования

$$Q = 6,8 N, \text{ м}^3/\text{мин}$$

где N – мощность двигателей, кВт;

- по наибольшему количеству людей

$$Q = 6 M, \text{ м}^3/\text{мин}$$

где M – максимальное число людей, одновременно находящихся в выработке;

- по пылевому фактору

$$Q \geq v S, \text{ м}^3/\text{мин}$$

где v – минимально допустимая скорость движения воздуха по выработке $0,25$ м/с (по пылевому фактору); S – сечение выработки, м^2 .

Расчёт параметров проветривания забоев лавообразных выработок

$$Q_{\text{лав}} = \frac{25,5 S_{\text{л}} \sqrt{A S_{\text{л}} L_{\text{л}}}}{t}, \text{ м}^3/\text{мин}$$

где $S_{\text{л}}$ – площадь поперечного сечения лавообразной выработки, м^2 ; $L_{\text{л}}$ – длина лавообразной выработки от места взрыва по струе до её сопряжения с вентиляционной выработкой, м; A – эквивалентное отверстие

$$A = \frac{0,121}{\sqrt{R}}, \text{ м}^2$$

R – аэродинамическое сопротивление

$$R = \frac{9,8 \alpha P L}{S^3},$$

α – коэффициент аэродинамического сопротивления выработки, выбирается по таблицам справочников, в зависимости от вида крепления и сечения выработки; P – периметр выработки, м; L – длина выработки, м; S – площадь сечения выработки, м^2 .

Расчёт расхода воздуха по шахте в целом⁴

А. Угольные шахты и калийные рудники

1. По метану

$$Q_{\text{ш}} = \Sigma Q_{\text{пласт}}$$

$$Q_{\text{пласт}} = \frac{100 q_{\text{пласт}} A_{\text{пласт}}}{1440}, \text{ м}^3/\text{мин}$$

где $q_{\text{пласт}}$ – относительная газообильность пласта, $\text{м}^3/\text{т}$;

$A_{\text{пласт}}$ – суточная добыча угля с пласта, т/сут;

$1440 = 24 \text{ч} * 60 \text{мин}$ – количество минут в сутках.

2. По наибольшему количеству людей M , одновременно находящихся в шахте

$$Q_{\text{ш}} = 6 M, \text{ м}^3/\text{мин}$$

3. По разжижению продуктов взрыва до безопасного содержания (0,008% СО), при нагнетательном проветривании – как сумма расходов воздуха для каждой выработки отдельно

$$Q = \frac{21,4 \sqrt{Q_{\text{ВВ}} V_{\text{В}}}}{t_{\text{пр}}}, \text{ м}^3/\text{мин}$$

$$Q_{\text{ш}} = \Sigma Q$$

⁴ Рудничная вентиляция. Справочник под ред. К.З.Ушакова.- М.: Недра, 1988, - 440 с.

где $t_{пр}$ – время проветривания, мин; $Q_{вв}$ – расход ВВ, кг; V_v – объём проветриваемой выработки, m^3 .

4. По пылевыведению для калийных рудников

- для рудников I-III категории по пыли и сверхкатегорийных

$$Q_{III} = Q_{II} A_{III} k_{зап}, \quad m^3/мин$$

где Q_{II} – норма расхода воздуха на 1 т добычи горной массы, в зависимости от размера частиц и количества пыли:

Категория рудника по газу	I	II	III	сверхкатегорийные
Размер частиц пыли, мкм	до 5-10	5-10	5-10	5-10
Количество пыли, 10^3 мг/т	1	1-5	5-20	более 20
Q_{II} , $m^3/мин*т$	0,4	0,4-2,0	2,0-8,0	более 8,0

5. Расход воздуха для шахты в целом

$$Q_{ш.общ} = 1,2 k Q_{III}$$

где 1,2 – коэффициент запаса;

Q_{III} – принимается *максимальным* из всех полученных значений расхода воздуха, $m^3/мин$;

k – корректирующий коэффициент, учитывающий схему вентиляции (центральная или фланговая), число проветриваемых горизонтов, участков, утечки воздуха в выработанное пространство, в подготовительные выработки, камеры, равен $k=1,45 \div 2,45$, при учёте естественной тяги добавляется ещё $k_e=1,2$.

Б. Рудники

1. По наибольшему количеству людей M , одновременно находящихся в шахте

$$Q_p = 6 M k_{зап}, \quad m^3/мин$$

где $k_{зап}$ – коэффициент запаса, учитывает способ вентиляции: а) при всасывающем способе $k_{зап}=1,4$ – при отсутствии аэродинамической связи с земной поверхностью и $k_{зап}=1,6$ – при значительной зоне обрушения; б) при нагнетательном способе соответственно $k_{зап}=1,35$ и $k_{зап}=1,55$. При учёте естественной тяги добавляется ещё $k_e=1,2$.

5. По взрывчатым газам

- для рудников I-III категории по газу

$$Q_p = Q_d A_{III} k_{зап}, \quad m^3/мин$$

где Q_d – норма расхода воздуха на 1 m^3 добычи горной массы:

категория рудника по газу	I	II	III	сверхкатегорийные
Q_d , $m^3/мин*m^3$	1,4	1,75	2,1	более 2,1

A_{III} – суточная добыча рудника по горной массе, $m^3/сут$;

- для сверхкатегорийных рудников

$$Q_p = \frac{q A_{ш} k_{зап}}{14,4 c}, \text{ м}^3/\text{мин}$$

q – относительная газообильность рудника, $\text{м}^3/\text{м}^3$ горной массы;
 c – допустимая объёмная доля газа в общей исходящей струе, $c=0,75\%$.

6. По разжижению продуктов взрыва до безопасного содержания (0,008% CO),

$$Q_p = \frac{500 Q_{ВВ} k_{зап}}{t_{пр}}, \text{ м}^3/\text{мин}$$

где $Q_{ВВ}$ – количество одновременно взрываемого ВВ, кг; $t_{пр}$ – время проветривания выработок, мин (не менее 30 мин).

7. По пылевыделению

- для рудников I-III категории по пыли и сверхкатегорийных

$$Q_p = Q_{п} A_{ш} k_{зап}, \text{ м}^3/\text{мин}$$

где $Q_{п}$ – норма расхода воздуха на 1 т добычи горной массы, в зависимости от размера частиц и количества пыли:

Категория рудника по газу	I	II	III	сверхкатегорийные
Размер частиц пыли, мкм	до 5-10	5-10	5-10	5-10
Количество пыли, 10^3 мг/т	1	1-5	5-20	более 20
$Q_{п}$, $\text{м}^3/\text{мин} \cdot \text{т}$	0,4	0,4-2,0	2,0-8,0	более 8,0

Q_p – принимается максимальным из всех полученных значений расхода воздуха.

Источники движения воздуха в шахте

Шахтные вентиляторы, создающие разность давления в воздухопроводе относительно атмосферного, бывают центробежными типа **ВЦ** (в разрезе кожух напоминают спиральную ракушку, к.п.д. = 0,65-0,75) и осевыми типа **ВОД** (кожух в виде кольца, к.п.д. = 0,72-0,8). Центробежные вентиляторы дешевле, проще по устройству, имеют бóльшую прочность и создают гораздо меньше шума, но занимают больше места и неэкономичны при небольшой депрессии (менее 2500 Па). Практически все вентиляторы обладают возможностью регулировать мощность (депрессию вентилятора – от 700 Па до 7-10 тыс.Па) и **реверсировать**, т.е. изменять на противоположное направление движения струи, нагнетательный режим - на всасывающий. Обычно реверсирование применяется только при авариях, например, пожарах.

Обычное атмосферное давление в 750 мм рт.ст. соответствует давлению в 100 тыс. Па = 0,1 МПа. Проходческие работы в кессоне обычно производятся

при избыточном атмосферном давлении до 0,2 МПа (хотя максимально допустимый перепад давления - 0,4 МПа).

Для угольных сверхкатегорийных по газу шахт максимально допустимая депрессия (напор) равна 4500 Па, хотя вентилятор может создать депрессию до 10 тыс. Па. Для рудников максимально допустимая депрессия составляет 3000 Па.

При монтаже двух вентиляторов главного проветривания их соединяют параллельно, при этом увеличивается объём подаваемого воздуха, но не депрессия.

Вентиляторы местного проветривания работают в диапазоне: напор $h=500-6000$ Па, дебит $Q=2-25$ м³/с (см. рис. 7).

Максимально-допустимая скорость движения воздуха в вентиляционном канале равна 15 м/с. Надшахтные здания стволов, оборудованных нагнетающим или всасывающим вентилятором главного проветривания должны быть максимально герметичными, чтобы уменьшить здесь утечки воздуха, а надшахтное здание на стволе, через который отработанный воздух выходит из шахты, наоборот, должно быть негерметичным. Для уменьшения поверхностных утечек воздуха в 2-2,3 раза в стволе, выше вентиляционного канала, устанавливают воздушную завесу.

Вентилятор выбирают по двум показателям – расходу воздуха, м³/мин и по депрессии, Па (кроме того – ещё по экономическим соображениям на приобретение и эксплуатацию вентиляторной установки) – см. рис. 7.

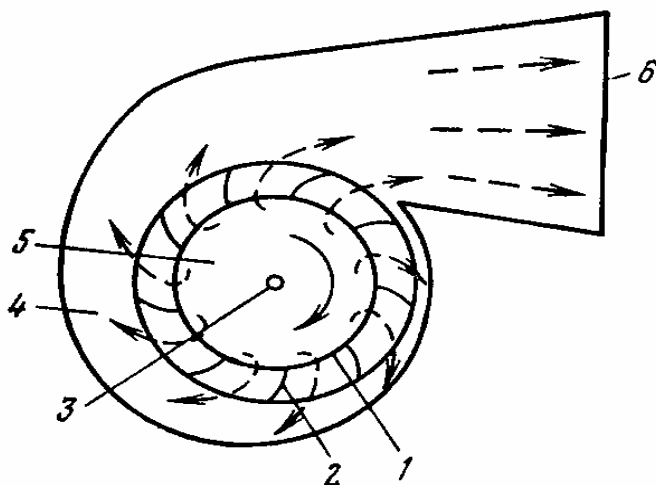


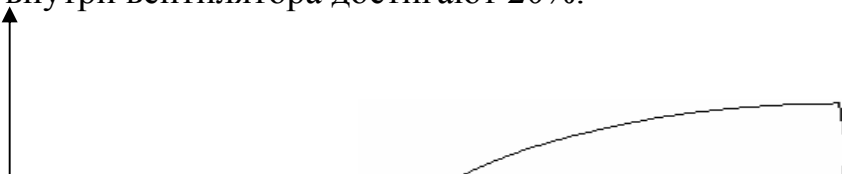
Рис. 6. Схема центробежного вентилятора

- 1 – рабочее колесо; 2 – лопатки; 3 – ось вращения; 4 – спиральный кожух;
5 – всасывающее (боковое) отверстие; 6 – нагнетательное (выпускное) отверстие

При необходимой депрессии вентилятора до 1500 Па рекомендуется применять только осевые вентиляторы, при 1500-3000 Па – осевые или центробежные, свыше 3000 Па – только центробежные, при этом собственные потери мощности внутри вентилятора достигают 20%.

h , Па

10000



Способы дегазации метанообильных шахт⁵

Основным источником метана являются угольные пласты, максимальная метаноносность которых в зависимости от степени метаморфизма и величины природного давления метана достигает 30-45 м³/т угля. Само природное давление метана достигает на глубинах 600-800 м уже 4-8 МПа, а на глубинах свыше 1000 м 12-15 МПа.

Природная метаноносность угля - кроме опасности скоплений и взрывов газа в шахтах, ухудшения безопасности труда и повышения себестоимости добычи – является препятствием для использования высокопроизводительных проходческой техники и механизированных добычных комплексов (при метаноносности более 5-7 м³/т эта техника неэффективна), за счёт этого производительность труда в газообильных шахтах в 1,5-2 раза ниже обычной. Дебет выделяющегося метана в угольных шахтах очень велик: от 480 тыс. м³/сутки в Печорбассе и до 140 тыс. м³/сутки в Кузбассе.

Основными методами борьбы с метаном являются:

- 1) интенсивное проветривание горных выработок (до 15-17 т воздуха на 1 т добытого угля);
- 2) дегазация горного массива там, где проветривания недостаточно для снижения концентрации газа.

⁵ а) Айруни А.Т. Способы борьбы с выделением метана на угольных шахтах. – М.: Обзор ЦНИЭИуголь, 1991, 65 с.; б) Галазов Р.А., Айруни А.Т., Сергеев И.В. и др. Газообильность каменноугольных шахт СССР. Эффективные способы искусственной дегазации угольных пластов на больших глубинах. – М.: Наука, 1987, 198 с.; в) Айруни А.Т. Теория и практика борьбы с рудничными газами на больших глубинах. – М.: Недра, 1981, 329 с.; г) Ножкин И.В. Заблаговременная дегазация угольных месторождений. – М.: Недра, 1979, 271 с.

Способы дегазации угольных шахт

При подземной дегазации пробуриваются скважины, из которых происходит **каптаж** (улавливание в скважины, затем отсасывание метана из дегазационных скважин в специальный газопровод и далее - на земную поверхность). Для усиления отдачи газа в скважинах применяют методы искусственного повышения газоотдачи угольного пласта. Для снижения дебита метана при проходке выработок производят тампонаж газопроводящих трещин вокруг выработки на глубину до 2-4 м (при давлении метана до 0,15 МПа и дебите до 2,5-3 м³/т).

Дегазацией достигается следующее:

- 1) при снижении содержания метана на 1% скорость проходки можно увеличить в 2-3 раза и в 2 раза повысить производительность добычи угля;
- 2) нет необходимости усиливать проветривание выработок, проходить дополнительные вентиляционные шурфы;
- 3) собранный в ёмкости метан в дальнейшем можно использования в виде топлива или сырья для химической промышленности.

За рубежом для предварительной дегазации обычно используют длинные (до 150-180 м) скважины большого (200-250 мм) сечения, пробуренные из соседних с лавой подготовительных выработок.

Дегазации подвергаются не только угольные пласты, но и зоны тектонических нарушений. От природных условий (газоносность, газопроницаемость, влажность, степень метаморфизма угля, мощность пластов) и горнотехнических условий (глубина разработки, способ подготовки и система разработки, способ управления горным давлением) зависит выбор способа дегазации. Так, в Донбассе преобладает (75-78% объёма метана) дегазация смежных пластов-спутников длинными подземными скважинами из подготовительных выработок, скважинами, пробуренными с земной поверхности забирается ещё 13-15%, кроме того, из выработанного пространства отсасывается 6-7%, и ещё около 2% объёма метана забирается из скважин при предварительной дегазации пластов. Всего же дегазацией извлекается 10-15% объёма выделяющегося метана (табл. 9), большая часть 85-90% газа удаляется из шахты за счёт общешахтной депрессии, т.е. за счёт проветривания.

Таблица 9

Показатели дегазации в России, Украине и Казахстане

Показатели	Угольный бассейн			
	Донецкий	Кузнецкий	Карагандинский	Печорский
Глубина разработки, м	700-1200	300-800	400-700	500-1000
Природная газоносность, м ³ /т	20-35	15-30	20-25	25-35
Длина скважин, м	100-150	100-200	100-250	150-220
Расстояние между скважинами, м	6-20	15-25	12-20	15-20
Оптимальная длительность дегазации, мес.	6-10	8-15	12-36	6-15

Снижение метаноносности угля, м ³ /т	3-4,7	5-9	6-10	5-9
-------------------------------------------------	-------	-----	------	-----

Дегазация при проходке выработок

Для дегазации вертикальных капитальных выработок (при проходке стволов и гезенков) бурятся скважины длиной 30-90 м и диаметром 80-120 мм либо из специальных ниш-камер, устраиваемых по бокам ствола, либо непосредственно из забоя ствола, через каждые 20-80 м его длины. При этом зона дегазации в горизонтальном сечении должна превышать диаметр ствола на 5-8 м, а опережение проходческого забоя дегазационными скважинами должно быть не менее 5-9 м.

Другой вариант - тампонаж газопроводящих трещин и стенок выработки производится с использованием шпуров диаметром 42 мм и длиной до 2-3 м - под давлением нагнетания глинистого или цементного раствора 2-2,5 МПа, совместно с тампонажем обычно применяется нанесение набрызгбетона толщиной 20 мм на стенки выработки.. Тампонаж снижает газопиток в выработки на 15-20%.

При дебите метана свыше 3-3,5 м³/мин при проходке горизонтальных выработок применяется:

- а) опережающее бурение дегазационных скважин диаметром 50-120 мм и длиной 30-90 м непосредственно из забоя;
- б) бурение скважин в обе стороны от выработки из специальных бортовых ниш-камер (рис. 8) через каждые 30-50 м;
- в) бурение из бортовых ниш-камер опережающих забой на 5-10 м скважин длиной 15-100 м и диаметром 50-120 мм (рис. 9);
- г) законтурное бурение ограждающих скважин (при дебите метана до 15-18 м³/мин) длиной до 200 м параллельно проходимой выработки на расстоянии 5-7 м от стенок её, при этом число скважин от 2 до 4 с каждой стороны выработки, диаметр 100 мм.

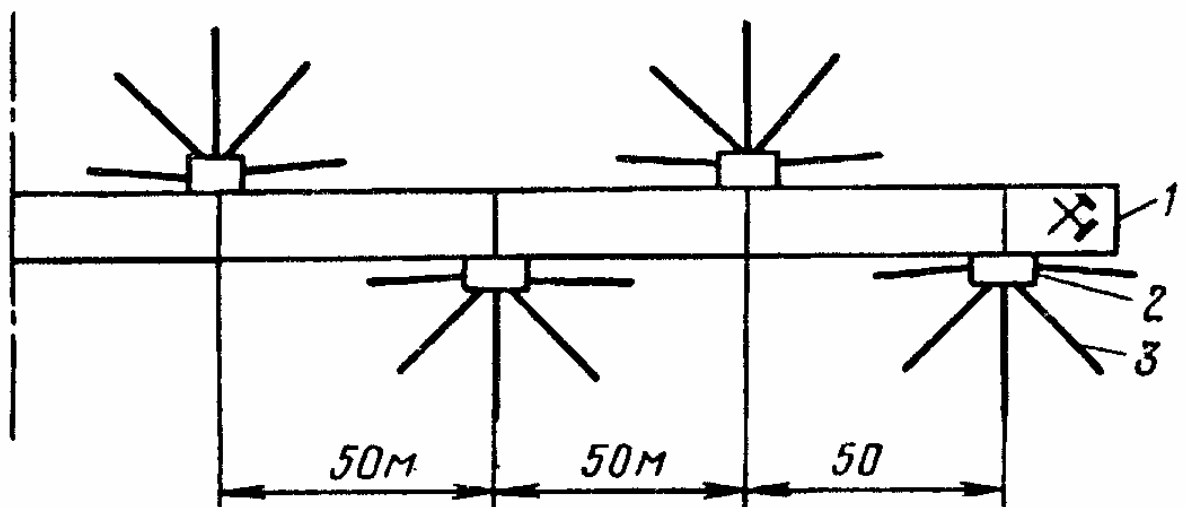


Рис. 8. Схема дегазации при проходке квершлага по трещиноватым газосодержащим породам (Румыния):

1 – забой квершлага; 2 – ниша; 3 – дегазационная скважина

Дегазация отработываемых угольных пластов

Наиболее часто применяемыми способами дегазации во всём мире являются: а) предварительная дегазация с искусственным повышением газоотдачи; б) дегазация выработанного пространства и в) шахтно-бесшахтная дегазация.

Предварительная дегазация планируемых к отработке пластов производится в условиях естественного залегания угля, ещё не испытывающего опорного горного давления. По дегазируемому пласту *поперёк столба* из подготовительных выработок бурятся параллельные или пересекающиеся скважины, в которых собирается за счёт естественной диффузии метан, кроме того, создав в скважинах вакуум можно повысить на 20-30% газоотдачу пластов. Наиболее эффективны восстающие скважины и горизонтальные, наименее эффективны нисходящие скважины, пробуренные из подготовительных выработок (соотношение эффективности соответственно 1,3:1,2:1).

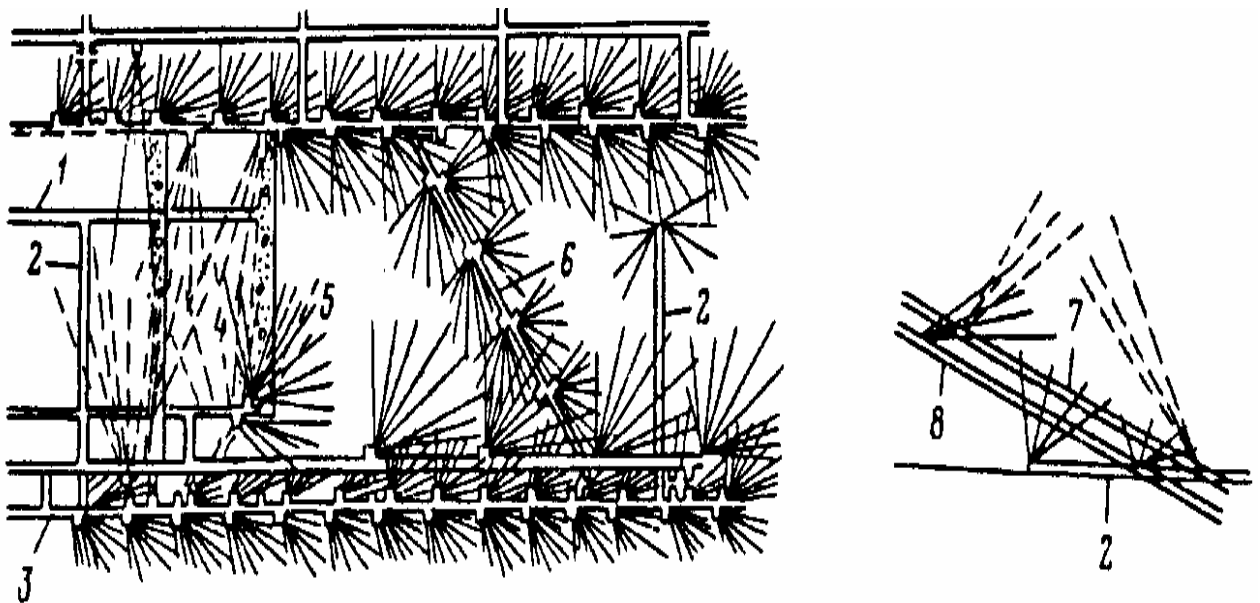


Рис. 9. Схема дегазации бортовыми скважинами при проведении пластовых выработок (Япония):

1 – штрек в почве нижнего пласта; 2 – квершлаг; 3 – откаточный штрек; 4 – лава нижнего слоя; 5 – лава верхнего слоя; 6 – наклонная дегазационная выработка; 7 – главный пласт; 8 – нижний пласт

Оптимальные параметры предварительной дегазации:

- длина скважин 80-240 м (зависит от длины лавы);
- диаметр скважин 100, 120 или 150 мм;
- плотность сетки скважин 12-18 м/1000 т;

- расстояние между скважинами 10-25 м;
- длительность дегазации 12-24 месяцев.

Предварительная дегазация снижает метаноносность угля (на 3-5 м³/т угля или на 15-30%) и тем самым позволяет повысить производительность добычных комплексов.

Передовая дегазация осуществляется скважинами, пробуренными вдоль и поперёк столба из подготовительных выработок по пласту с опережением очистной выемки, при этом метаноносность угля снижается на 30-60%.

Оптимальные параметры передовой дегазации:

- длина скважин 80-200 м;
- диаметр скважин 100, 120 или 150 мм;
- расстояние между скважинами 10-15 м;
- длительность дегазации 20-60 суток.

Дегазация подрабатываемых угольных пластов подземными скважинами. На больших глубинах и при высокой метаноносности угля над основным пластом проходят опережающую горную выработку – коллектор, в которую собирается метан и под которой возникает зона разгрузки от горного давления (опережение не более чем на 45-60 м). Из этой выработки бурятся дегазационные скважины (длиной 100-140 м и диаметром 100 мм) по пластам-спутникам и тем снижается выделение метана в основном пласте, кроме того, в коллекторе собирается газ и из выработанного пространства.

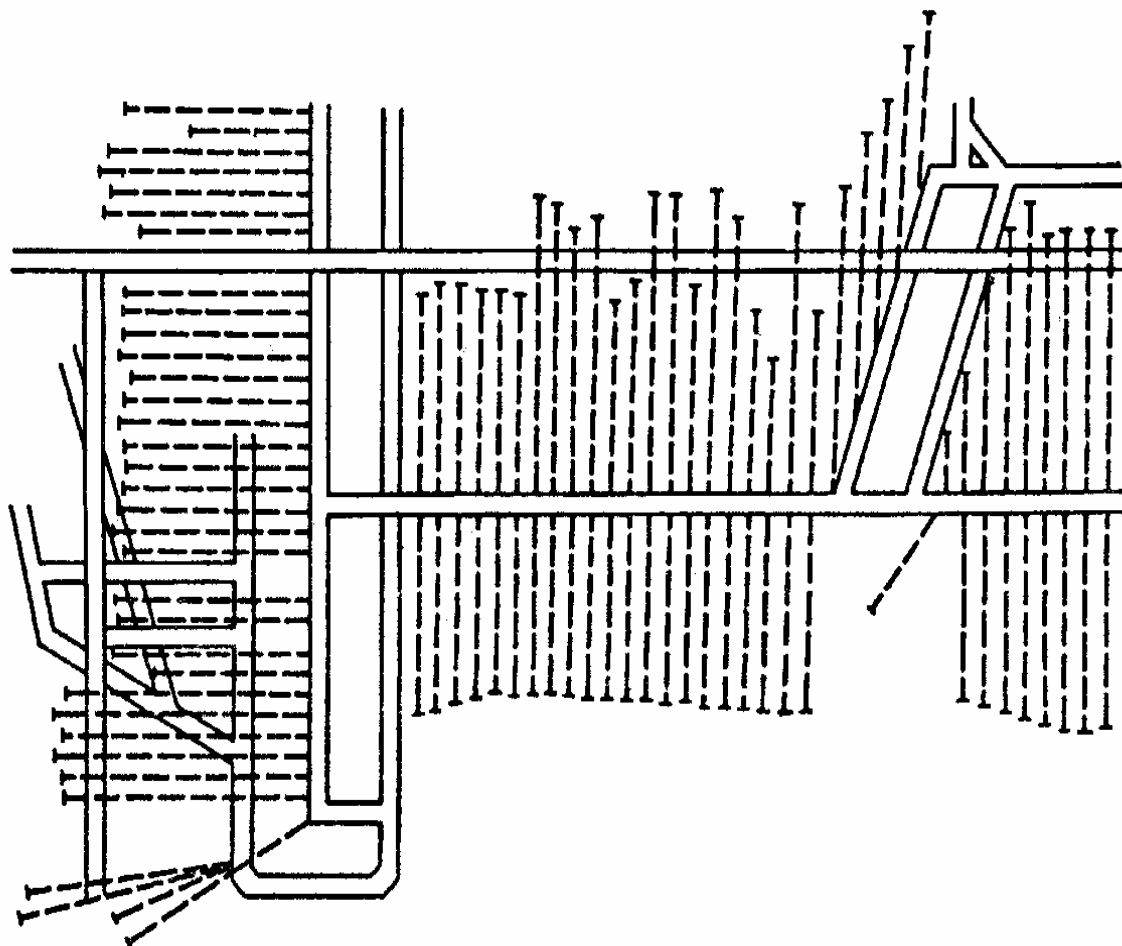


Рис. 10. Схема предварительной дегазации мощного пологого пласта – восстающими, горизонтальными и нисходящими скважинами (Караганда)

Дегазация выработанного пространства производится за счёт отсасывания метана из зон обрушения над мощными пластами угля, для этого из ниш в бортах подготовительных выработок бурятся скважины выше купола обрушения пород: из каждой ниши по 2-5 скважины, расстояние между нишами 40-50 м, длина скважин 50-60 м.

Шахтно-бесшахтный способ дегазации заключается в бурении с земной поверхности вертикальных скважин до уровня угольных пластов, где производится гидроразрыв, а затем – отсасывание газа, при этом суммарная мощность дегазируемых пластов должна быть не менее 3-4 м, глубина залегания пластов до 650 м, расстояние между скважинами 100-150 м, давление гидроразрыва 18-20 МПа, кроме того, дегазация подвергаются участки, где очистные работы начнутся не позже, чем через 2-4 года. В США этим способом извлекается 70-85% всего каптируемого метана.

Методы искусственного повышения газоотдачи угольного пласта. Дегазация скважинами эффективна лишь при высокой газовой проницаемости угольных пластов – свыше $2 \cdot 10^{-18} \text{ м}^2$, поэтому на пластах с низкой газопроницаемостью и газоотдачей необходимо искусственно повысить эти свойства угля.

1. **Солянокислотная обработка** стенок скважин длиной 100-150 м, пробуренных через 10-20 м по длине подготовительной выработки, - 3% раствором соляной кислоты под давлением закачки 0,5-1,5 МПа (объём кислоты на одну скважину 20-50 м³), длительность 4-5 часов. При этом растворяются карбонатные включения пласта и повышается его пустотность, следовательно газоотдача возрастает в 2-3 раза, метаноносность пласта снижается на 4-8 м³/т.

2. **Подземный гидроразрыв** пласта за счёт нагнетания в пробуренные скважины диаметром 100-120 мм и длиной 100-150 м - воды или водного раствора под высоким давлением:

- для глубин 300-600 м – 10-12 МПа;
- для глубин 600-900 м – 12-17 МПа;
- для глубин 1000-1200 м – 18-20 МПа.

При этом скорость закачки 30-40 м³/ч и количество закачиваемой в одну скважину воды 25-100 м³, тогда радиус обработки пластов составляет 30-50 м. За счёт создания пустот и трещин временно – на 5-7 месяцев - увеличивается дебит метана из гидроразрывных скважин в 20-50 раз и из дегазационных (предварительных, передовых) скважин в 2-2,5 раза. Добавки в воду: смачиватель ДБ (0,2-0,5%), глицерин (или катамин 0,2-1%) индустриальное масло (0,2-2%), жидкое стекло (0,1-0,9%)

Сочетание гидроразрыва с предварительной дегазацией позволяет повысить нагрузку на очистной забой по пластам с природной газоносностью 15-25 м³/т – до 1600-2000 т/сутки. Область применения этого метода повышения газоотдачи определяется экономической оценкой затрат на бурение и оборудова-

ние скважин гидроразрыва, нагнетание в них воды и на последующее бурение в обработанной зоне дегазационных скважин. При использовании гидроразрыва угля в сочетании с параллельно-одиночными дегазационными скважинами снижается метаноность угля на 6-12 м³/т.

3. Передовое **глубинное гидрорезание**. Для этого в пробуренную из забоя подготовительной выработки скважину (диаметром 100-120 мм и длиной 80-150 м) вводится буровой став со специальными насадками-фильерами, преобразующими статический напор воды давлением свыше 20 МПа в динамический. Насадку с фильерами передвигают от забоя скважины к её устью со скоростью 6-8 м/ч, при этом возникают трещины по обеим сторонам от скважины высотой 10-15 см и шириной 2 м. Гидрорезание производится на всю длину скважины, исключая последние 3-5 м к устью, затем скважина герметизируется и подсоединяется к шахтному газопроводу (см. каптаж). Эффективность такой дегазации достигает 70-80%, что позволяет увеличивать скорость проходки штрека с 1,5-3 до 10-12 м/сутки.

II. Аэрология карьеров

Атмосфера и микроклимат карьеров

Карьеры, разрабатывающие полезные ископаемые, располагаются в различных районах России, но лишь в двух климатических поясах – арктическом и умеренном. Арктический пояс распространён в самых северных районах вдоль Северного Ледовитого океана (примерно выше 65 параллели), который формирует арктические воздушные массы. Характеризуется морозной длительной зимой с продолжительным временем температуры воздуха ниже –50⁰С и холодным же коротким летом. Умеренный пояс распространён на бóльшей части территории России, формируется под влиянием тёплых и влажных воздушных масс, поступающих с Атлантического океана, Тихого океана и из региона Сибирского антициклона.

Организм россиянина приспособлен к средним, умеренным температурам, поэтому на его самочувствие влияют как высокие, так и низкие температуры. Для оценки влияния низкой температуры и ветра принимается показатель – **жѐсткость погоды**:

$$Ж = |t| + 2v, \text{ баллы,}$$

где t – отрицательная температура воздуха, берѐтся по модулю, ⁰С; v – скорость ветра, м/с.

По жѐсткости погоды территория РФ разделена на отдельные районы (см. рис. 8).

Состав атмосферного воздуха карьеров

При разработке некоторых месторождений в атмосферу карьера могут выделяться газообразные радиоактивные вещества, основным из которых является радон, образованный при распаде радия.

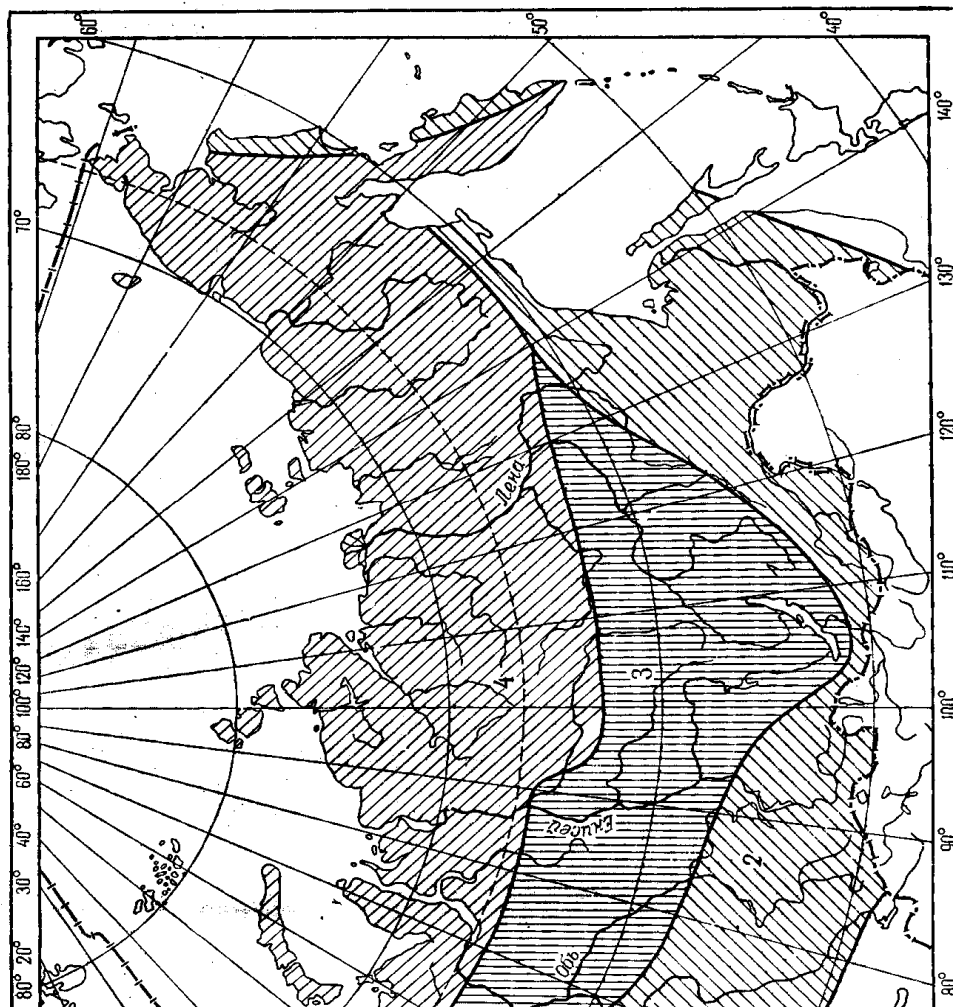
Содержание в воздухе рабочей зоны вредных газов и паров в соответствии с требованиями ГОСТа не должно превышать предельно допустимые концентрации (ПДК), мг/м³:

Акролеин – 0,2	Оксись углерода – 20
Формальдегид – 0,5	Сероводород – 10
Тринитротолуол – 1,0	Сернистый ангидрид - 10
Окислы азота – 5,0	

Рабочей зоной считается пространство высотой до 2 м над уровнем почвы или площадки, в котором располагаются места постоянного или временного пребывания работающих.

При работе в атмосфере, содержащей окись углерода, не более 1 часа ПДК может быть увеличена до 50 мг/м³, а при работе не более 30 минут – до 200 мг/м³. Работы при увеличенном содержании окиси углерода в воздухе рабочей зоны могут возобновиться не ранее двухчасового перерыва.

При разработке полезных ископаемых в атмосферу карьеров выделяется также пыль, представляющая собой мелкие твёрдые частицы размером менее 0,1-0,5 мм. Она может быть ядовитой и неядовитой. К неядовитой относят кварцевую, угольную, силикатную... пыль, однако она может привести к профзаболеванию – силикозу и др., а радиоактивная пыль – к раковым заболеваниям. Существуют ПДК на пыль, регламентируемые ГОСТом (см. табл. 4).



делению жёсткости погоды в различных районах СНГ:
0 до 20 баллов, 3 – от 20 до 40 баллов, 4 – более 40 баллов

К ядовитой относят пыль, содержащей свинец, ртуть, хром, марганец, мышьяк, сурьму и другие ядовитые химические элементы, вдыхание которых приводит к специфическим профзаболеваниям.

Основными характеристиками, определяющими микроклимат карьеров, накопление и вынос вредностей, являются скорость воздуха в карьерах, его температурный режим и влажность атмосферы.

Скорость воздуха в карьерах определяется скоростью воздуха на поверхности и температурным режимом карьеров. При скорости ветра на поверхности более 2 м/с - она определяется энергией ветрового потока, при меньшей – термическим фактором. Существует суточный и годовой период изменения скорости ветра на поверхности, скорость воздуха в карьере обычно меньше, чем на поверхности. Термические силы, вызываемые прогревом или охлаждением воздуха, могут существенно изменять скорость воздуха в карьере и формировать воздушные потоки горизонтальные – до 3 м/с, а восходящие – до 5 м/с.

Температура воздуха в карьере определяется температурой воздуха на поверхности, адиабатическим сжатием воздуха, тепловыделяющими и теплопоглощающими процессами в карьерах и состоянием его атмосферы. Она также изменяется в течение суток и за год. Обычно температура воздуха в карьере выше, чем на поверхности, вследствие естественного сжатия, нагревания пород солнцем и наличием дополнительных источников тепла (машины и механизмы), причём у северного борта температура воздуха выше, чем у южного борта.

Высокая **влажность воздуха** в карьере способствует образованию в них тумана и мглы, уменьшающих видимость, затрудняющих ведение горных работ и ослабляющих прогрев бортов, что снижает конвективный воздухообмен в карьерах. Увеличению влажности способствуют некоторые мероприятия и технологические процессы: орошение взорванной горной массы, отвалов, дорог, тушение пожаров, применение гидромеханизации, дренаж подземных вод. Изменение относительной влажности имеет суточный и годовой период.

Плотность воздуха при нормальном атмосферном давлении (10^5 Па)

Температура, t , $^{\circ}\text{C}$	-20	-10	0	10	20	40
Плотность, ρ , кг/м^3	1,39	1,34	1,29	1,24	1,2	1,12

Источники загрязнения атмосферы карьеров

Внутренние источники загрязнения – пыль и газообразования, расположенные в пределах контура карьера: а) точечные (буровые станки, экскаваторы, камнерезные машины); б) объёмные (пылегазовое облако после взрыва); в) линейные (автодороги, отвалообразователи, выделения газов из пластов); г) равномерно распределённые (эрозия почвы, выветривание поверхности бортов). По времени действия источники разделяются на непрерывные и периодические. По положению – могут быть стационарными, полустационарными и перемещающимися.

Внешние источники – отвалы, хвостохранилища и т.п.

Для снижения запылённости воздуха применяют пылеулавливание (электрофильтрами) и пылеподавление (водой, битумом), а для снижения загазованности осуществляют нейтрализацию вредных газов (сорбционная, каталитическая газоочистка), также в кабинах машин создают комфортные условия для работающих (по ГОСТу **оптимальный микроклимат** - температура $18-23^{\circ}\text{C}$, относительная влажность 40-60%, скорость движения воздуха 0,3-0,4 м/с), массовые взрывы производят при сильном ветре и т.п.

Схемы естественного проветривания карьеров

Карьер является частью земной поверхности. Поэтому воздухообмен в нём в значительной степени определяется теми же факторами, что и воздухообмен над земной поверхностью в целом: скоростью ветра и распределением температуры в приземном слое воздуха...

Наиболее эффективно проветривается карьер при применении энергии ветра, причем, чем выше скорость ветра - тем лучше проветривание. В этом случае в карьере образуется либо **свободная** (рис. 12а), либо **полуограниченная** (рис. 12б) струя, выносящая вредности из карьера. Свободная струя образуется при большом угле откоса борта карьера и поэтому встречается чаще, чем полуограниченная. Схема проветривания свободной струей называется **рециркуляционной**, поскольку наличие обратной струи второго рода в зоне **ОВСО** приводит к многократной циркуляции (рециркуляции) некоторой части воздуха в объеме карьера. При этом свободная струя **АОВ** будет приносить к борту ВО вредности, выделяющиеся на участке **ОСВ** и заносимые в струю рециркуляционным потоком. Часть этих вредностей будет вновь поступать в зону **ОВСО**, что со временем может привести к накоплению здесь вредностей, поэтому эта зона называется застойной или мертвой.

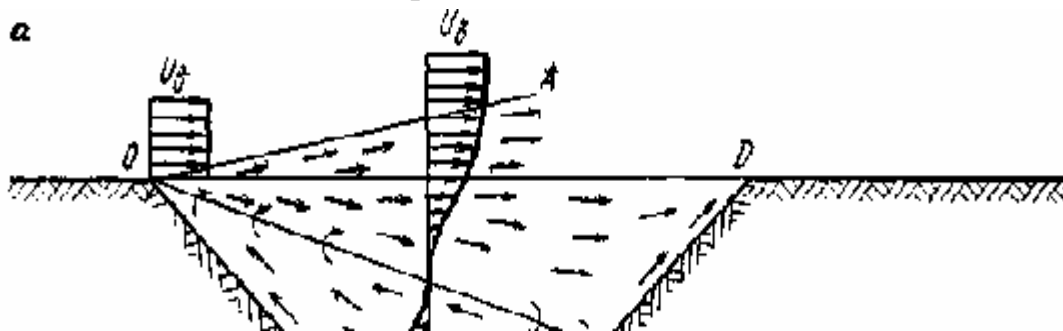


Схема проветривания с **полуограниченной** струей называется **прямоточной**, так как воздух в объеме всего карьера движется в одном направлении. Эта схема более эффективна в связи с тем, что она не имеет застойных зон и скорость воздуха в карьере мало отличается от скорости ветра на поверхности. Однако она встречается преимущественно при **неглубоких** разработках или в карьерах с очень пологими бортами.

При отсутствии ветра или малой его скорости движение воздуха в карьере формируется под действием **термических объёмных сил**.

Воздух в карьере подогревается нагретыми поверхностями (борта, дно), например, за счет нагрева солнцем или процесса окисления, эндогенного тепла горных пород. В этом случае прилегающие к ним слои воздуха становятся более легкими и поднимаются к поверхности, двигаясь вдоль бортов. Этот поток выносит из карьера вредности. Такая схема называется **конвективной**. Эффективность проветривания карьера при этой схеме низкая. Конвективная схема образуется лишь при **повышении температуры** воздуха в карьере с глубиной, превышающем адиабатический.

При **охлаждении воздуха** с глубиной разработки (температурный градиент меньше адиабатического) он становится более тяжелым и опускается на дно карьера. При этом на дно заносятся и все вредности, выделяющиеся на уступах более высоких горизонтов. Такая схема движения воздуха называется **инверсионной**. При инверсионной схеме движения воздуха вынос вредностей из карьера практически не происходит. В этом случае следует говорить не о проветривании карьера, а об его отсутствии.

Кроме того, могут возникать **комбинации**: рециркуляционно-прямоточная схема проветривания (одна часть карьера у подветренного борта проветривается по рециркуляционной схеме, вторая, где свободная струя достигает дна и движется вдоль него, — по прямоточной), инверсионно-

конвективная (по одному, теплему, борту воздух поднимается, а по другому, холодному, например, теневому - опускается), прямоточно-рециркуляционная.

ТЕРМОДИНАМИКА АТМОСФЕРЫ КАРЬЕРОВ

Термодинамика атмосферы карьеров изучает источники тепла и закономерности изменения температуры воздуха в карьерах, термические силы и их влияние на движение воздуха, закономерности развития туманов в карьерах.

Источники тепла

В общем случае воздух в карьере может, как нагреваться, так и охлаждаться. Основными источниками нагревания воздуха являются его естественное адиабатическое сжатие вышележащими: слоями воздуха, инсоляция поверхности карьера, пожары и другие окислительные процессы, эндогенное тепло горных пород. Воздух может также охлаждаться холодными поверхностями карьера, снежным покровом.

Адиабатическое сжатие воздуха, не насыщенного паром, при опускании в карьер вызывает увеличение его температуры примерно на 1°C на каждые 100 м вертикальной высоты. При отсутствии охлаждения воздуха адиабатическое сжатие является основной причиной увеличения температуры воздуха в карьере по сравнению с поверхностью (только летом).

Значительным источником тепла в карьере является облучение солнцем (**инсоляция**) бортов и дна. Однако вследствие разной инсоляции бортов в течение суток их температура меняется, при этом *северные* борта карьеров, как лучше освещённые солнцем, имеют и более *высокую* температуру.

Окислительные процессы в карьерах могут быть ощутимыми источниками тепла в случае, если реакции окисления - экзотермические, например, окисление угля, сланца и углеродосодержащих горных пород. Наиболее интенсивны процессы тепловыделения при пожарах (тоже процесс окисления).

Определённое количество тепла поступает к обнаженным поверхностям карьеров из глубин (**эндогенное тепло**). В зависимости от климатических и геологических условий месторождения температура неохлажденных горных пород на глубине 100 м может составлять $4-12^{\circ}$, на глубине 300 м уже $7-18^{\circ}\text{C}$. Однако вследствие предварительного охлаждения, температура обнажаемых пород в карьере меньше, чем в нетронутым массиве. Такая разница в температуре больше зимой и меньше летом. **В глубоких карьерах** тепловой режим поверхностей обнажения карьера, определяемый притоком эндогенного тепла из недр Земли, является одним из основных факторов.

Зимой борта карьеров могут охлаждать находящийся над ними воздух при покрытии снегом, который отражает до 50% падающей на него солнечной радиации. Кроме того, большое количество тепла расходуется на таяние снега весной, что также способствует охлаждению воздуха.

Термические силы и их влияние на состояние атмосферы карьера

Причиной появления этих сил является неоднородность поля плотности их атмосферы - из-за неоднородности температурного поля воздушной среды и

из-за различного химического состава воздуха и его влажности. Термические силы могут оказывать определенное влияние на состояние атмосферы в карьере. В полной мере они проявляются при **скорости ветра до 1 м/с**. Термические силы возрастают с глубиной разработки.

Поступательное движение воздуха под действием термических сил может совершаться вверх или вниз. Направление движения зависит от общего термического состояния движущихся масс воздуха. Если они прогреты настолько, что их температура выше температуры окружающих масс воздуха (плотность небольшая), - восходящее движение, и наоборот, если их температура окажется ниже (значительная плотность), - движение нисходящее.

Вертикальные перемещения масс воздуха в карьере вызывают вторичные, зависящие от них поступательные движения воздуха в горизонтальном направлении. Причиной этих движений является вытеснение нижележащих (вышележащих) объемов воздуха воздухом, находящимся в вертикальном движении. В условиях ограниченности размеров карьера движение вытесняемых объемов воздуха отклоняется от вертикального; они растекаются по дну карьера, движутся вдоль его бортов. Вертикальные и горизонтальные движения воздушных масс в карьере под действием термических сил показаны на рис. 10 и 11.

Рассмотрим условия формирования неоднородного поля температуры (плотности) в объеме карьера. Предположим, что все поверхности карьера (борта и дно) нагреты одинаково и: определим, как распределяются температура и плотность неподвижного воздуха в произвольной горизонтальной плоскости (см. рис. 13-а). Участки этой плоскости, как видно из рисунка, находятся на разном удалении от теплоизлучающих поверхностей. Больше всего тепла получают те её участки, которые расположены ближе к теплоотдающим поверхностям. Далее она убывает, достигая минимума в средней части плоскости *1-1*. Распределение же плотности обратное: у прогретых бортов она минимальная, а вдали от них она достигает максимума. Таким образом, у бортов карьера окажутся более теплые и, следовательно, более легкие массы воздуха, а в средней части карьера - более холодные и тяжелые. Последние будут опускаться, вытесняя вверх более теплые массы воздуха. При этом теплый воздух поступает вверх не вертикально, а вдоль бортов, что объясняется «прижимающим» эффектом опускающихся холодных масс. Такое движение воздуха называется **конвективным**.

Выше предполагалось, что поверхность карьера прогрета равномерно. В действительности инсоляция, и степень прогрева северных бортов выше, чем южных. В этом случае симметрия течения воздушных потоков нарушается: более интенсивные конвективные потоки поступают вдоль северного борта, менее интенсивные — вдоль южного (см. рис.13-б). Наконец, если один из бортов нагревает воздух, а другой его охлаждает, то возможно образование **циркуляционного** движения, при котором теплый воздух поднимается только вдоль нагретого борта, а холодный опускается вдоль охлажденного борта и в средней части карьера.

На рис. 14 показано состояние атмосферы карьера, когда его поверхности охлаждают воздух. В этом случае в плоскости *1-1* температура минимальная у бортов и максимальная в центральной части карьера. Плотность меняется в об-

ратной зависимости: максимальное её значение - у бортов и минимальное - в центральной части карьера. При этом вертикальное распределение температуры у бортов имеет инверсионный характер, направление движения воздуха также изменилось: тяжелый холодный воздух вдоль бортов поступает в карьер, вытесняя вверх более теплый воздух центральной части карьера. Такое движение называется **инверсионным** (т. е. обратным по сравнению с конвективным). Характерной особенностью его является нисходящее движение воздуха вдоль бортов карьера.

1. Прямоточная схема проветривания

Прямоточная схема проветривания возникает при скорости ветра на поверхности **более 0,8—1 м/с** и угле откоса подветренного борта карьера $\alpha \leq 15^\circ$.

Схема движения воздуха. Поток воздуха, движущийся между некоторой плоскостью и земной поверхностью, достигая карьера в точке **О**, начинает расширяться в глубь карьера (рис. 15), вследствие чего происходит уменьшение скорости его движения. В результате над карьером образуется как бы «шапка» из частично заторможенных слоев воздуха. Аналогичная картина наблюдается и при рециркуляционной схеме.

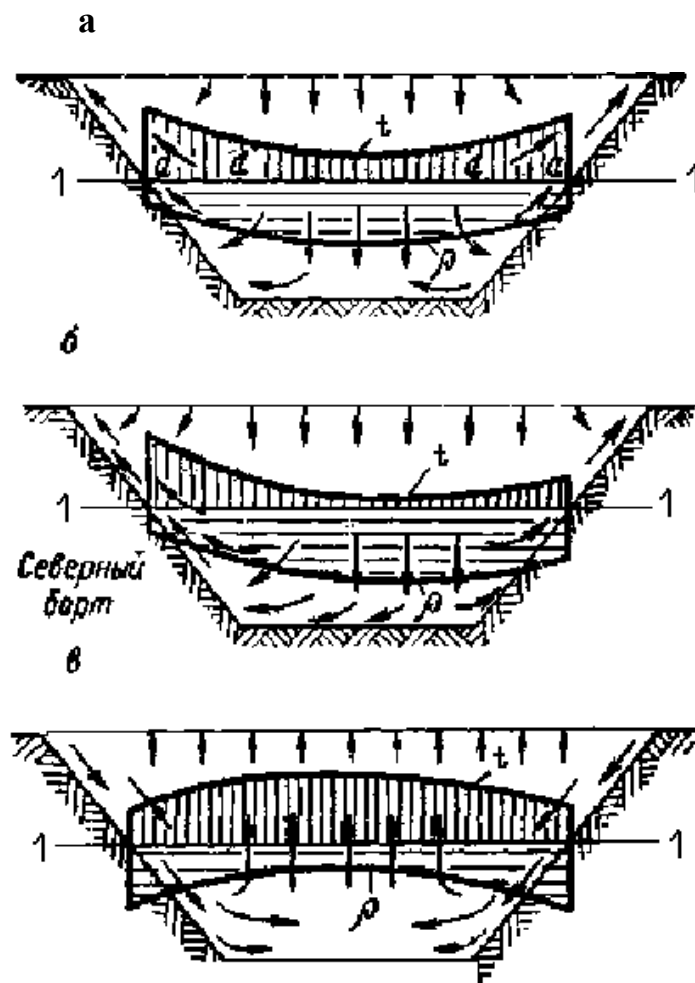


Рис. 13. Схемы образования **конвективных** движений воздуха в карьере

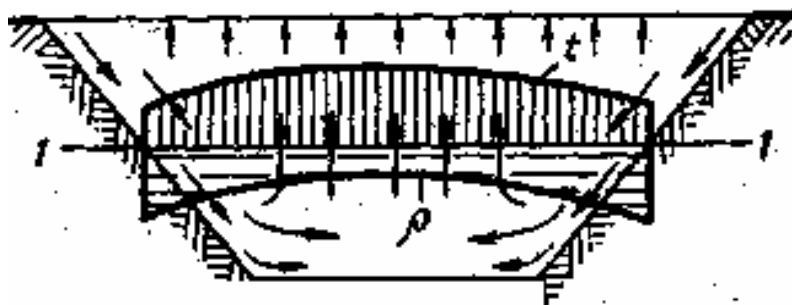
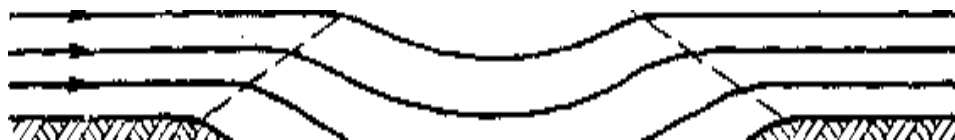


Рис. 14. Схема образования **инверсионного** движения воздуха в карьере



Отмеченную особенность движение воздуха в карьере можно представить в виде схемы, показанной на рис. 16. Из неё видно, что при прямоточной схеме проветривания ветровой поток на поверхности, движущийся вдаль от карьера, у верхней бровки подветренного борта карьера (точка **О**) изменяет своё направление, начинает расширяться в сторону карьера и омывает подветренный борт. Встретив наветренный борт карьера, поток воздуха поворачивает вверх, двигается вдоль этого борта и сужается.

Между скоростью ветра на поверхности U_v и скоростью U_o на оси Ox существует по данным МГИ соотношение:

- для прямоточной схемы проветривания $U_v / U_o = 0,78$,
- для рециркуляционной схемы оно изменяется от 1 на верхней бровке подветренного борта карьера до 0,48 на его нижней бровке по зависимости, близкой к экспоненциальной.

При прямоточной схеме проветривания в карьере не образуются застойные зоны сколько-нибудь значительных размеров, где могли бы накапливаться вредности. При этой схеме обычно наблюдаются лишь местные загрязнения атмосферы у источников выделения вредностей, общего загрязнения атмосферы не возникает. Условия выноса вредностей тем лучше, чем меньше угол откоса бортов карьеров, так как с его увеличением возрастает степень расширения воздушного потока и, следовательно, уменьшается скорость воздуха.

Однако, при прямоточной схеме условия проветривания подветренного и наветренного бортов не одинаковы. Подветренный борт при этой схеме всегда проветривается чистым воздухом, поступающим с поверхности. Наветренный воздухом, омывший подветренный борт и дно карьера, таким образом, уже содержащим определенное количество вредностей.

2. Рециркуляционная схема проветривания

Рециркуляционная схема проветривания возникает при скорости ветра на поверхности **более 0,8— 1 м/с** и углах откоса подветренного борта карьера **более 15°**.

Вследствие резкого изменения направления твердой границы ветрового потока в точке **О** (см. рис. 17) и значительных сил инерции его в этой точке происходит отрыв потока от твердой границы. В результате этого воздух в пространстве карьера движется в виде плоскопараллельной свободной струи. Выше этой границы скорость воздуха равна скорости ветра на поверхности u_v . Свободная струя при достижении в точке **В** наветренного борта разделяется на

две части. Первая (верхняя) ее часть, двигаясь вдоль уступов вверх, выходит на поверхность. Вторая (нижняя) — поворачивает вниз и, двигаясь в направлении, противоположном первоначальному, образует также свободную струю, называемую струей II рода.

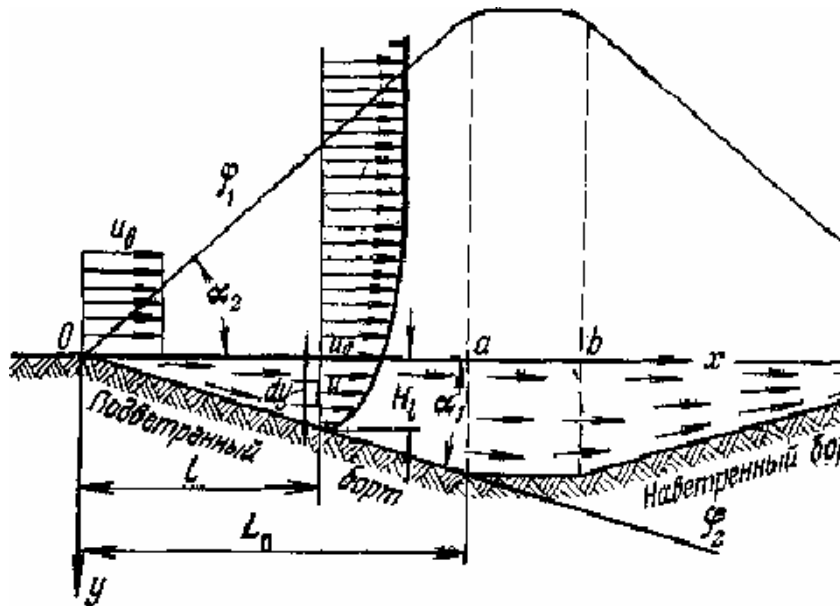


Рис. 16. Прямоточная схема движения

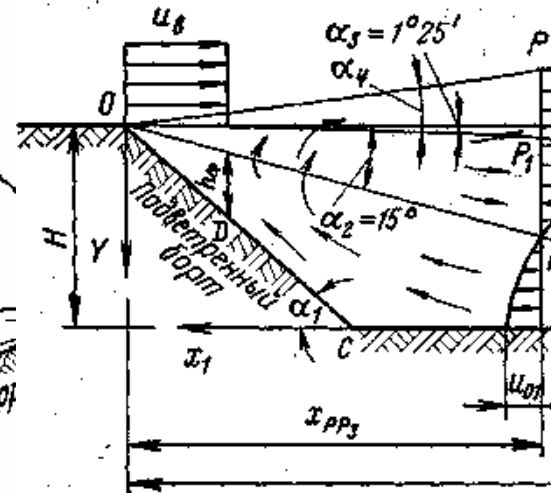


Рис. 17. Рециркуляционная с

Следовательно, при рециркуляционной схеме проветривания в карьере имеются две зоны с различным характером движения в них:

- зона **спутного потока**, направление движения в которой совпадает с направлением ветра,

- зона **обратного потока**, направление движения воздуха в которой противоположно направлению ветра. Из зоны обратного потока воздух, поворачивая вверх, вновь поступает в зону спутного потока.

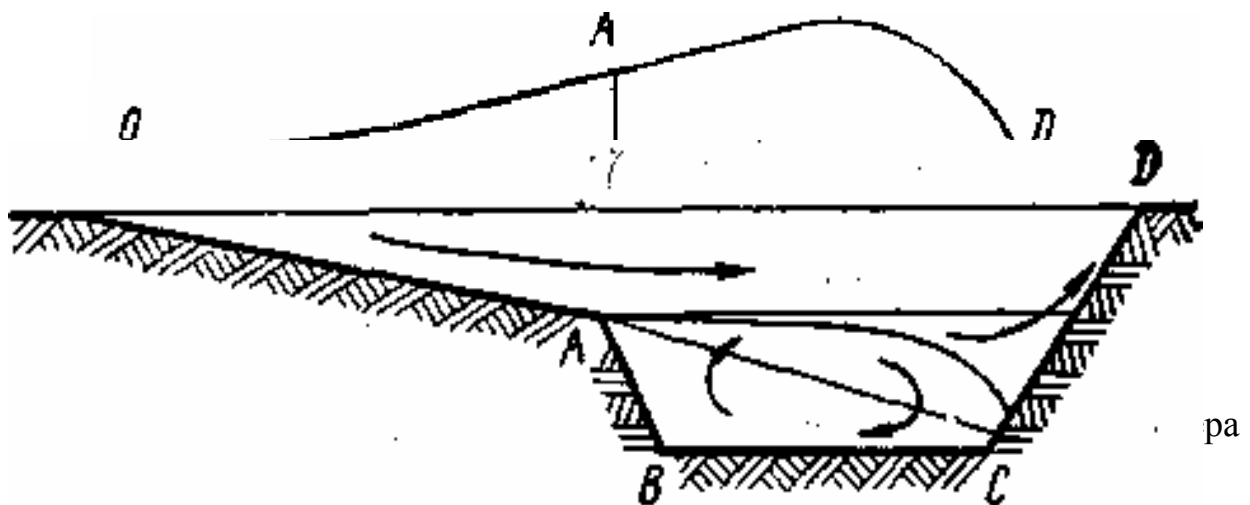
Между этими двумя зонами имеются участки с порывистым движением воздуха самых различных направлений. В зоне воздушного потока с глубиной карьера скорости уменьшаются. На границе струй продольные скорости равны нулю, а поперечные - отличны от нуля. В зоне обратного потока (свободная струя II рода) наблюдается обратная зависимость: скорости воздуха с глубиной возрастают, достигая максимума у поверхности карьера.

3. Комбинированные схемы проветривания

Реальная геометрия карьеров может значительно отличаться от идеальной, возможны случаи, когда одна часть карьера проветривается по прямооточной схеме, а другая - по рециркуляционной.

Например, при больших размерах карьеров в направлении ветра возможна **рециркуляционно-прямоточная** схема проветривания (см. рис. 16 и 17), а при переменном угле подветренного борта карьера возможна прямооточно-рециркуляционная схема проветривания (рис. 18).

Возможны и другие комбинации рассмотренных ранее схем.



ПРОВЕТРИВАНИЕ КАРЬЕРОВ ЭНЕРГИЕЙ ТЕРМИЧЕСКИХ СИЛ

Рис. 18. Прямоточно-рециркуляционная схема проветривания карьера

Термические силы оказывают заметное влияние на проветривание карьеров при скорости ветра на поверхности **более 2 м/с**. При меньшей скорости и в зависимости от величины температурного градиента в карьере устанавливается конвективное или инверсионное движение воздуха, называемое конвективной или инверсионной схемой проветривания карьера. При конвективной схеме более теплые нижележащие слои воздуха поднимаются вверх и выносят с собой содержащиеся в них вредности. При инверсионной схеме движения охлажденные слои воздуха поступают вниз и заносят с собой вредности в глубокую часть карьера. Проветривание карьера при этом практически не осуществляется, наблюдается

накапливание примесей в его нижней части, что приводит к прекращению работ в карьере.

Конвективная схема проветривания

Конвективная схема проветривания возникает при *прогретых бортах* карьера и малой энергии ветрового потока на поверхности.

Прогретые борта карьера нагревают находящийся над ними воздух, который начинает перемещаться вверх, а на его место сверху опускаются холодные массы воздуха. Причины такого перемещения объясняются разной степенью прогрева отдельных его объемов, находящихся в одной горизонтальной плоскости. Общий прогрев бортов вызывает движение воздуха во всем карьере.

Кроме общекарьерного конвективного движения часто наблюдаются локальные конвективные потоки, вызываемые разной степенью прогретости поверхности карьера из-за различной освещенности, поглощающей способности (различные цвета пород, их физические свойства), разного прогрева глубинным теплом, различной интенсивности окислительных процессов на поверхности и др.

Формирование конвективной схемы начинается при **прогревании** бортов и дна карьера и при скорости ветра **не более 0,7—0,8 м/с**, что соответствует удельной кинетической энергии ветрового потока на поверхности, примерно равной 0,4 Дж/м³. С уменьшением энергии ветрового потока (скорости ветра) конвективное движение воздуха в карьер усиливается. Физически это объясняется следующим образом.

При энергии ветрового потока на поверхности, превышающей 0,4 Дж/м³, в карьере развивается интенсивный турбулентный воздухообмен и тепло, поступающее в атмосферу от его поверхностей, не накапливается у бортов (за исключением слоя воздуха толщиной 1—2 м, прилегающего к поверхности уступов), а распространяется по всему объёму внутрикарьерного воздушного пространства. В результате происходит относительно равномерный прогрев атмосферы карьера источниками тепла, находящимися на его поверхностях. При равномерном прогреве температура воздуха во всех точках внутрикарьерного пространства изменяется на одну и ту же величину. Следовательно, поступление тепла от поверхностей карьера в условиях интенсивного турбулентного воздухообмена (высокие энергии ветрового потока на поверхности) не изменяет температурный градиент воздуха в карьере, вызываемый естественным сжатием воздуха с глубиной и равный адиабатическому градиенту (1°С на 100 м). При уменьшении энергии ветра турбулентность, а следовательно, и воздухообмен в карьере уменьшаются, вследствие чего слои воздуха, ближе расположенные к источникам тепла (поверхностям карьера), прогреваются сильнее, чем более удаленные, тем самым увеличивая вертикальный температурный градиент, который начинает превышать значение, соответствующее безразличному равновесию атмосферы (1°С на 100 м), что вызывает появление восходящих конвективных потоков воздуха: формируется конвективная схема проветривания.



Рис. 19. Движение воздуха в карьере при конвективной схеме проветривания

При конвективной схеме проветривания карьера (рис. 19) массы теплого воздуха поднимаются вверх не вертикально, а движутся вдоль уступов вследствие прижимающего эффекта опускающихся более холодных масс. При этом объём поднимающегося из карьера воздуха с высотой увеличивается. Наиболее мощные конвективные потоки наблюдаются у верхних уступов карьера.

При увеличении масс воздуха, поднимающегося вверх вдоль бортов карьера, скорость его движения с высотой увеличивается. Максимальные значения скорости наблюдаются у верхней бровки борта карьера. Они могут достигать 1,5 м/с - при глубине карьера 100-200 м.

Одной из основных причин конвективного движения воздуха в карьере, как отмечалось ранее, является нагрев его бортов солнечной радиацией в дневное время. При этом северный борт нагревается больше, чем южный, в результате - вдоль северного борта к поверхности движутся большие массы воздуха и скорости их выше, чем скорости потоков воздуха вдоль южного борта.

При наличии таких источников тепла, как рудничные пожары, экзогенный нагрев бортов карьера и т. п., конвективное движение воздуха может происходить круглосуточно.

Аэродинамический режим движения воздуха в карьере при конвективной схеме проветривания неустойчивый. Вынос вредностей из карьера осуществляется восходящими воздушными потоками, движущимися вдоль бортов. При этом количество вредностей в потоке возрастает по мере приближения его к поверхности вследствие дополнительного выноса вредностей, выделяемых при ведении горных работ на верхних уступах.

Основные влияния на загрязнение атмосферы карьеров при конвективной схеме проветривания оказывают внутренние источники выделения вредностей (буровые работы, работа экскаваторов и т. п.). Концентрация вредностей у этих источников может быть высокой, особенно с подветренной стороны и при небольших скоростях движения воздуха.

Инверсионная схема движения воздуха

Инверсионная схема движения воздуха в карьерах возникает при **охлаждении бортов** карьера и малой энергии ветрового потока на поверхности при скорости ветра на поверхности **не более 0,7—0,8 м/с**.

Увеличение энергии ветрового потока оказывает влияние на термодинамическое состояние атмосферы: повышается турбулентный воздухообмен в карьере и выравнивается поле тех компонент температуры, которые являются результатом наличия источников охлаждения воздуха. В итоге температурный градиент приближается к адиабатическому. Затруднение же воздухообмена приводит к тому, что слои воздуха, прилегающие к холодным поверхностям бортов карьера, охлаждаются в большей степени, чем удаленные. Таким образом, создаются усло-

вия для перемещения вниз более холодных и, следовательно, более тяжелых масс воздуха.

Инверсионные движения воздуха в карьерах могут возникать не только при охлаждении воздуха бортами карьера, но и при прохождении над карьером фронта холодного атмосферного воздуха. В этом случае потоки холодного воздуха поступают в карьер прямо с поверхности.

Прилегающие к бортам слои воздуха охлаждаются и как более тяжелые начинают поступать вниз, на дно карьера, проникая под ранее находившиеся на дне слои более теплого воздуха, и вытесняют их вверх. По мере развития инверсии высота слоя холодного воздуха в нижней части карьера увеличивается. При глубоких инверсиях весь карьер может быть заполнен массами холодного воздуха.

При инверсионной схеме движения воздуха в карьере максимальные скорости воздуха у поверхности бортов **не превышают 1 м/с**. В направлении инверсионных потоков скорости уменьшаются, а под уровнем инверсии воздух практически находится в неподвижном состоянии.

В зависимости от условий инверсии могут быть различной продолжительности. Кратковременные инверсии длятся несколько часов и являются следствием радиационного охлаждения бортов карьера в ночное время при безоблачной погоде. Они развиваются ночью и исчезают с восходом солнца. Длительные инверсии могут продолжаться несколько дней. Они часто возникают в холодный период года, когда радиационное охлаждение бортов превышает получаемую ими инсоляцию.

Режим движения воздуха при инверсионной схеме проветривания ламинарный или близкий к нему, что затрудняет воздухообмен в карьере и обуславливает высокое содержание газа и пыли в воздухе на значительном расстоянии от источника их образования.

При инверсионной схеме движения воздухообмен между слоем инверсии и вышележащими слоями атмосферного воздуха крайне ограничен, поэтому **вынос вредностей** из карьера практически **не происходит**. Более того, поступающие вниз массы холодного воздуха увлекают за собой вредности, образующиеся на верхних уступах. Концентрация газа и пыли может существенно превышать допустимые пределы. Пребывание людей в таких местах становится опасным вследствие возможных острых отравлений ядовитыми газами. Кроме этого, из-за большого содержания газа и пыли в слое инверсии, а в ряде случаев и из-за образования **туманной дымки** видимость в карьере резко ухудшается, что нарушает безопасность при ведении работ. Вследствие этого при глубоких инверсиях работы в карьере приостанавливают, а людей выводят на поверхность.

КОМБИНИРОВАННОЕ ПРОВЕТРИВАНИЕ КАРЬЕРОВ

При скорости ветра на поверхности **от 2 до 5 м/с** движение воздуха в карьере формируется при совместном действии энергии ветра и термических сил.

В глубоких карьерах часто можно наблюдать комбинацию ветровой и термической схем проветривания. Опыт показывает, что даже при достаточно силь-

ном ветре на поверхности ветровой поток проникает в глубь карьера не более чем на 150—200 м. Ниже этого уровня энергия ветрового потока становится настолько незначительной, что уже не оказывает какого-либо влияния на формирование воздушных потоков, здесь действуют преимущественно термические силы.

В глубокой части карьера движение воздуха может быть конвективным или инверсионным. При прямоточно-конвективном движении воздуха в карьере (рис. 20) верхняя часть его проветривается энергией ветра, а нижняя - конвективными термическими силами. При этом вредности с конвективными потоками поступают в зону действия прямоточной ветровой струи, которая уже выносит их за пределы карьера. Если же один из бортов карьера охлажден, а другой по какой-либо причине нагрет (например, вследствие горения на нем полезного ископаемого), то возможна конвективно-инверсионная схема движения воздуха (рис. 21).

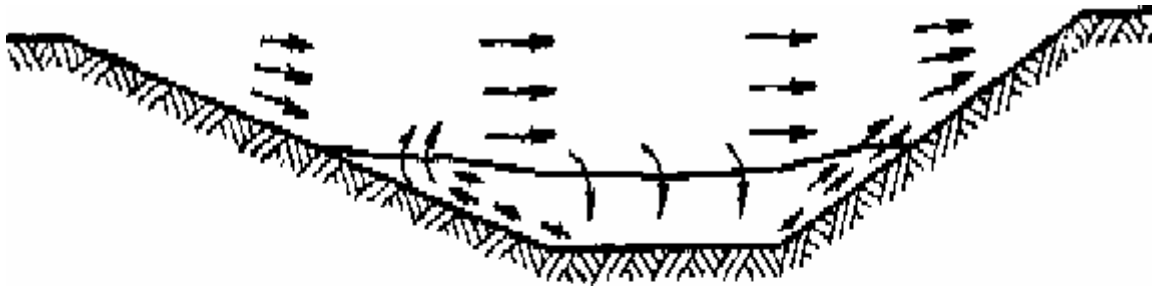


Рис. 20. Прямоточно-конвективная схема проветривания карьера



Рис. 21. Конвективно-инверсионная схема проветривания карьера

Особым случаем комбинированного проветривания является ветровое проветривание карьеров в условиях действия термических сил. Фактически совместное действие ветра и термических сил наиболее часто встречается при естественном проветривании карьеров. При этом в карьере формируется ветровая (прямоточная или рециркуляционная) схема движения воздуха. При этом в карьере возможно как усиление вертикальных движений воздуха (реальные градиенты температуры больше адиабатического), так и их ослабление (реальные градиенты температуры меньше адиабатического). В результате этого происходит перемешивание вредностей в атмосфере карьера и, следовательно, их вынос из карьера происходит более или менее интенсивно.

Количество воздуха, проходящего через любое поперечное сечение карьера, размер которого по высоте равен глубине карьера, а по ширине – 1 м, при совместном действии ветра и термических сил (см. рис.17) можно рассчитать заранее:

$$Q = 0,9 h_c v L n \quad , \quad \text{м}^3$$

$$h_c = H \left[\frac{4.6}{(\alpha - 20)^2 + 20} + 0.046 \right] \quad , \quad \text{м}$$

$$n = \frac{0.5 v^2}{0.5 v^2 + g \Gamma 0,01 H}$$

где v – скорость ветра на земной поверхности, м/с;

L – длина проекции подветренного борта карьера на горизонтальную плоскость, м;

h_c – толщина свободной воздушной струи над верхней бровкой подветренного борта карьера, м;

α – угол наклона подветренного борта карьера, град.;

H – глубина карьера, м;

n – корреляционный коэффициент, учитывающий термические силы, обычно равен $2,5 \div 3$;

g – ускорение свободного падения, $9,81 \text{ м/с}^2$;

Γ – адиабатический градиент температуры, обычно $1^\circ\text{C}/100 \text{ м}$.

ИСКУССТВЕННАЯ ВЕНТИЛЯЦИЯ КАРЬЕРОВ

Под искусственной вентиляцией карьера понимают интенсификацию воздухообмена в нем любыми целенаправленными действиями человека.

Искусственная вентиляция карьера необходима в случаях, когда интенсивность воздухообмена в карьере оказывается недостаточной для поддержания нормального санитарно-гигиенического состояния атмосферы в местах ведения работ.

Условия, способствующие накоплению вредностей в карьере, следующие:

- уменьшение энергии ветрового потока на поверхности;
- вертикальный температурный градиент - менее адиабатического;
- повышение интенсивности выделения вредностей в атмосферу карьера.

Уменьшение энергии ветрового потока на поверхности является основным фактором, способствующим накоплению вредностей в атмосфере карьера. Выше указывалось, что при скоростях воздуха на поверхности **менее 2 м/с воздухообмен** между атмосферой карьера и поверхностью значительно **сокращается**.

Вертикальный температурный градиент определяет интенсивность конвективного воздухообмена в карьере. При **адиабатическом градиенте**, равном 1°C на 100 м вертикальной глубины карьера, в нем устанавливается состояние безраз-

личного **равновесия атмосферы**. Устойчивое равновесие воздуха наиболее неблагоприятно, так как в этом случае воздухообмен между атмосферой карьера и поверхностью практически прекращается, что создает условия для быстрого накопления вредностей в карьере. На практике установлено, что недопустимое **загрязнение** карьера наступает **через 1—2 ч** после установления в нем устойчивого состояния атмосферы. Такое состояние атмосферы карьера наступает при вертикальных температурных градиентах менее 1°C на 100 м и особенно при отрицательном градиенте (инверсионное состояние атмосферы).

Повышение интенсивности выделения вредностей при существующих технологических процессах в карьерах обычно связано с производством взрывных работ, при которых в атмосферу карьера выбрасывается большое количество ядовитых газов и пыли.

Способы искусственной вентиляции карьеров разделяют на два класса: способы интенсификации естественного воздухообмена и способы собственно искусственной вентиляции.

К способам **интенсификации естественного воздухообмена** относятся:

- выбор правильной ориентации карьера в плане;
- выбор наиболее рациональных по фактору проветривания размеров карьера (углов откоса бортов, глубины, размеров в плане);
- создание на поверхности у карьеров искусственных сооружений, способствующих увеличению скорости и турбулизации ветрового потока;
- изменение окраски обнажений горных пород на поверхностях карьера;
- аккумуляция тепла в специальных резервуарах; использование глубинного тепла горных пород.

К способам собственно **искусственной вентиляции** карьеров относятся:

- вентиляция с помощью труб и выработок;
- вентиляция свободными струями, создаваемыми специальными вентиляторными установками.

Способы искусственной вентиляции карьеров могут быть также разделены на способы местной и общеобменной вентиляции.

Местная вентиляция используется для очистки от загрязнений сравнительно небольших объёмов внутрикарьерного пространства (отдельные забои, взорванные блоки, тупиковые траншеи, перегрузочные пункты и т. п.) и осуществляется вентиляторными установками относительно небольшой мощности.

Общеобменная вентиляция применяется для очистки от загрязнений или всего внутрикарьерного пространства, или значительных его частей (например, рабочих зон). При этом используются установки, создающие мощные воздушные струи, распространяющиеся на сотни метров, расход воздуха в которых составляет тысячи кубических метров в секунду.

Активные средства искусственной вентиляции применяют лишь при небольших скоростях ветра на поверхности, штилях и инверсиях. При этом включение их в работу производится до накопления вредностей в карьере, что предупреждает образование опасных скоплений их и сокращает время вентиляции карьера.

Интенсификация естественного воздухообмена

Интенсификация естественного воздухообмена в карьерах необходима, особенно при разработках на большой глубине. Тем не менее, существующие способы интенсификации воздухообмена весьма ограничены, а эффективность их небольшая. Необходимым условием их применения является наличие достаточно сильного движения воздуха на поверхности, при этом положительный эффект достигается при небольших глубинах карьеров. Поэтому применяемые в настоящее время способы интенсификации воздухообмена в карьерах являются вспомогательными средствами их искусственной вентиляции. **От человека не зависит сила ветра, атмосферное давление, солнце и облака над карьером, но можно расположить определённым образом отвалы** (см. рис. 20), объём которых чрезвычайно велик и определяется коэффициентом вскрыши (отношение объёма пустых пород к объёму полезного ископаемого).

Ориентация карьера в плане. Интенсифицировать воздухообмен в карьере можно ориентацией его длинной оси в плане по направлению господствующего ветра (если это позволяет расположение залежи полезного ископаемого), при этом объём зоны рециркуляции, в которой воздухообмен менее интенсивен, сравнительно небольшой.

Угол откоса бортов карьера. На рис. 22 видно, что при уменьшении его от β_1 до β_2 сокращается объём зоны рециркуляции. Дальнейшее уменьшение угла откоса может привести к установлению в карьере весьма эффективной прямоточной схемы проветривания.

С этим обстоятельством связано предложение о придании профилю верхней части борта карьера **скругленной формы**. При этом отрыв ветрового потока от твердой поверхности происходит в некоторой точке на борту карьера ниже уровня поверхности. Это вызывает увеличение угла раскрытия свободной струи с 15° при линейном профиле борта карьера до $30\text{—}45^\circ$ при скругленном.

Вентиляционные сооружения на поверхности. Вентиляция карьеров может быть улучшена, с учётом розы ветров, при возведении на его поверхности сооружений типа валов, направляющих и турбулизирующих воздушный поток. Для этих же целей можно использовать и расположенные у карьеров здания. Подобные сооружения, называемые воздухозаборами (рис. 23), позволяют увеличить скорость ветрового потока над карьером на **10-20 %**. Хорошие результаты получаются при большем расстоянии между валами, которое не должно превышать ширину карьера. Оптимальный угол между сооружениями равен примерно 70° . Отвалы же пустых пород должны быть расположены по другую сторону карьера (с подветренной стороны) и таким образом, чтобы не препятствовать выносу вредностей из карьера.

Валы и здания, расположенные перед карьером с наветренной стороны, повышают турбулизацию воздуха, что увеличивает угол раскрытия поступающего в карьер ветрового потока. При этом уменьшается объём рециркуляционной зоны и улучшается проветривание карьера. **Расстояние** таких валов от карьеров должно быть **не менее десяти их высот**.

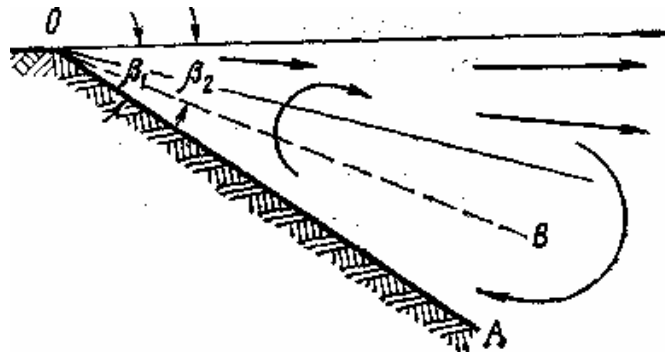


Рис. 22. Схема влияния угла откоса бортов карьера на объём зоны рециркуляции

Следует иметь в виду, что отвалы и здания, расположенные вблизи карьера и неправильно ориентированные относительно господствующих ветров, ухудшают проветривание.

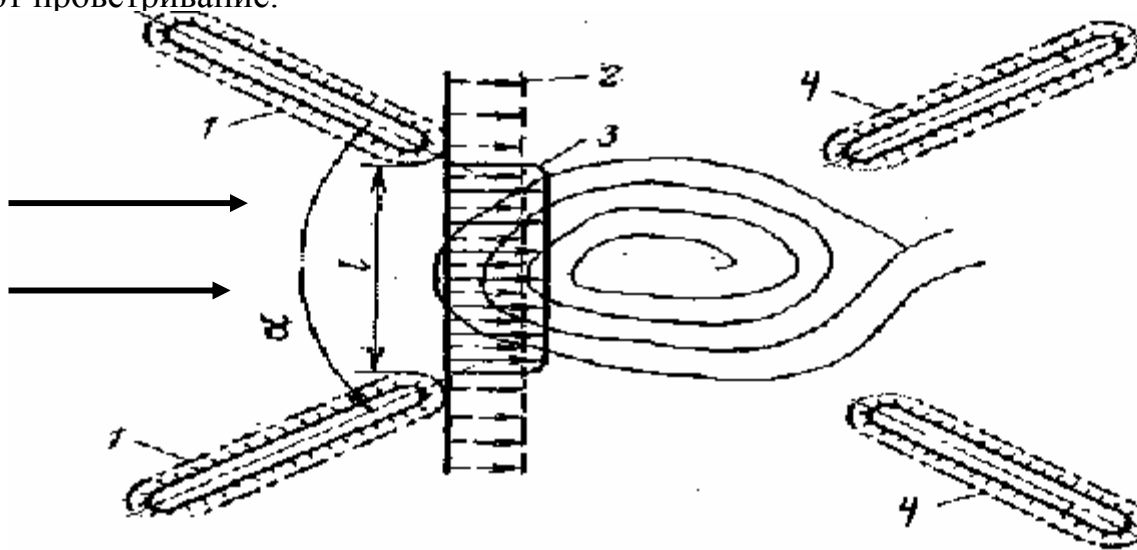


Рис. 23. Схема воздухозабора:

1 — валы или здания, сооружения с наветренной стороны; 2 и 3 — эпюры скорости ветрового потока над карьером; 4 — породные отвалы с подветренной стороны

Интенсификация проветривания карьера может быть достигнута также ориентацией траншей и съездов по направлению господствующих ветров. При совпадении с направлением ветра оси траншеи повышается поступление воздуха с поверхности в карьер, т.е. она является воздухопроводящим каналом.

При естественном проветривании карьеров интенсификация может быть осуществлена установкой на поверхности, а также в карьерах, специальных воздухонаправляющих сооружений. Например, установка **направляющих щитов** на верхней бровке борта карьера с наветренной стороны позволяет увеличить угол вхождения ветрового потока в карьер, **на 15—20 % скорость** ветра на входе и сохранить прямооточную схему проветривания при углах наклона бортов до 50° .

Изменение окраски обнажений горных пород. Нанесение слоев асфальта, шлака, битума на обнажения горных пород изменяет их окраску и **увеличивает разность температур** между почвой и воздухом в дневное время в **2—4 раза** по

сравнению с необработанной поверхностью. При этом в осенний период изменяется и направление теплового потока: вместо отрицательного, при необработанной поверхности (воздух охлаждается), - наблюдается положительный тепловой поток (воздух прогревается). Дополнительное прогревание воздуха объясняется повышением поглощающей способности этих видов покрытий и аккумуляцией в них некоторого дополнительного количества тепла.

Наиболее целесообразным покрытием является **битумное**, которое дает такой же эффект, как и асфальтовое, но при значительно меньшей его толщине (тонкая пленка битума эквивалентна асфальтовому покрытию толщиной 15 см).

Увлажнение поверхностей карьера при орошении для борьбы с пылью, выделении грунтовых вод и выпадении атмосферных осадков в летний период способствует охлаждению поверхности вследствие затраты тепла на испарение и вызывает охлаждение воздуха, что ухудшает воздухообмен в карьере. В осенний период по мере снижения температуры воздуха, наоборот, увлажнение вызывает нагрев прилегающих воздушных слоев.

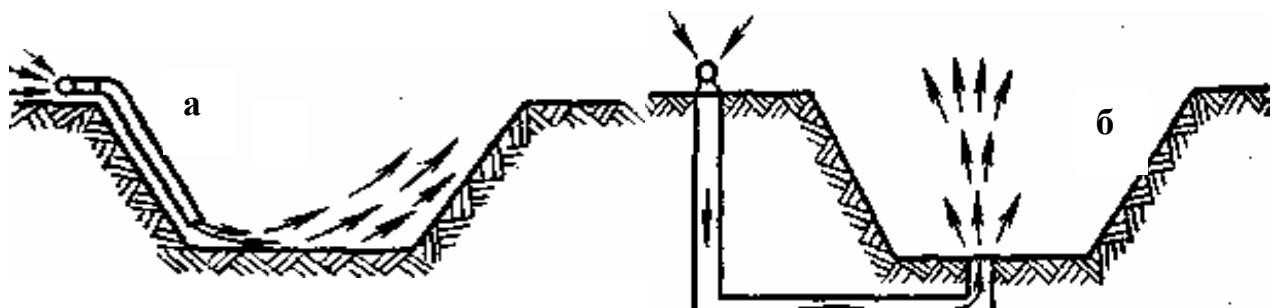
Аккумуляция тепла в специальных резервуарах. Этот способ интенсификации естественного воздухообмена основан на накоплении тепла теплоносителями, находящимися в специальных резервуарах, например, в металлических баках с водой. Теплоноситель аккумулирует тепловую энергию солнечной радиации в течение дня и затем отдает тепло воздуху в вечернее и ночное время, прогревая его и тем самым, уменьшая опасность появления ночных инверсий.

Использование глубинного тепла горных пород. Известно, что с углублением в недра земли температура горных пород повышается. Тепло, содержащееся в массиве, можно использовать для нагрева воздуха в карьере для интенсификации воздухообмена и предупреждения развития инверсий. Для этого можно использовать подкарьерные подземные выработки, по которым пропускается атмосферный воздух. При контакте с теплыми стенками выработки воздух нагревается и, поступая в карьер, способствовать прогреву атмосферы и улучшению воздухообмена в нем, но отработанный воздух из шахты приносит в карьер и вредности. Поэтому этот воздух не должен быть грязным.

Использование тепла подземных вод. Подземные термические воды могут выделять при их остывании значительные количества тепла. Отданное в атмосферу карьера это тепло будет прогревать воздух, способствуя возникновению в атмосфере конвективных течений и интенсифицируя проветривание карьера.

Вентиляция с применением труб и использованием выработок. При этом способе искусственной вентиляции по бортам карьера прокладывают трубопроводы или проводят подземные выработки с поверхности к бортам или дну.

При применении нагнетательного способа вентиляции (рис. 24) чистый воздух, забираемый с поверхности или с верхнего горизонта, вентиляторной установкой подается по трубопроводу или выработке в карьер и распространяется в виде свободной струи. Вентиляторная установка может располагаться как на поверхности карьера, так и в любом месте по длине трубопровода.



При её работе на всасывание загрязненный воздух будет засасываться из карьера и выбрасываться на поверхность. В этом случае имеем **всасывающий** способ вентиляции, когда воздух с бóльшим содержанием вредных веществ отсасывается из зоны загрязнения, а его место занимает притекающий из соседних участков более чистый воздух. К центру зоны загрязнения (в нем обычно располагается горное оборудование, являющееся источником выделения вредных веществ) чистый воздух поступает лишь после удаления всего загрязненного воздуха. В результате при всасывающем способе **продолжительность вентиляции** больше, чем при нагнетательном. Достоинство всасывающего способа заключается в том, что удаление отсасываемого загрязненного воздуха происходит за пределы карьера. Кроме того, вследствие небольших скоростей движения воздуха при всасывающем способе исключается дополнительное пылеобразование из-за сдувания осевшей пыли, что может быть при нагнетательном способе, когда воздух постулат в карьер с большой скоростью.

При **нагнетательном** способе вентиляции чистый воздух подается непосредственно в зону загрязнения, что обеспечивает сравнительно быстрое её проветривание. Струя воздуха подсасывает находящиеся вблизи загрязненные массы атмосферного воздуха, разбавляет содержащиеся в них вредности и выбрасывает на более высокие горизонты или в другие нерабочие или менее загрязненные участки карьера.

В целом вентиляция с применением труб или использованием выработок малоэффективна из-за ограниченности подачи воздуха, по воздухопроводам существующими средствами вентиляции. При этом способе требуются неоправданно большие затраты, он может быть эффективным только при вентиляции небольших зон загрязнения и при условии непосредственного подведения к ним вентиляционных трубопроводов или выработок.

Имеются предложения использовать для вентиляции карьеров вертикальные трубы из легкого материала, удерживаемые дирижаблями или **аэростатами**. По предварительной экономической оценке этот способ является дорогостоящим.

На основании отмеченных выше недостатков способ искусственной вентиляции с применением труб и использованием выработок в настоящее время не нашел применения на карьерах нашей страны. Его можно применять в качестве вспомогательного способа в случае, если проведение системы подземных выработок в карьере необходимо по каким-либо другим причинам (например, для осушения месторождения).

Технические средства при вентиляции свободными струями

Технические средства, применяемые для вентиляции карьеров свободными струями, можно разделить на следующие группы:

- I—установки на базе вентиляторов;
- II—установки на базе авиационной техники;
- III—тепловые установки.

В установках I группы используются как обычные шахтные вентиляторы, так и вентиляторы, специально сконструированные для проветривания карьеров.

Турбовинтовые и турбореактивные авиационные двигатели, а также несущие винты вертолетов применяют в установках II группы.

В установках III группы используется принцип конвективного движения подогретых масс воздуха. Основными частями таких установок являются тепло-выделяющие элементы.

По температуре создаваемых свободных воздушных струй установки для вентиляции карьеров подразделяются на установки, создающие изотермические и неизотермические струи.

Величина ущерба от загрязнения окружающей среды

1. Загрязнение атмосферы при массовом взрыве на карьере.

При массе ВВ 1 т - высота выброса составляет 100-150 м, его горизонтальный размер (при отсутствии ветра) 70-90 м, радиус защитной зоны, где концентрация вредных веществ не превышает ПДК, 1 км. Ориентировочно, внешняя граница объекта ущерба (радиус защитной зоны) соответствует $\sqrt[3]{M}$, где M – масса заряда ВВ в скважинах, т.

Граница рассеивания пылегазового облака после массового взрыва на карьере, м:

$$L = 1.21 v^{-1.59} \exp(-0.0018 H) \left[\left(\frac{-\ln C}{C_0} \right) (292.5 v^2 + 497.5 v - 500) \right]$$

где H – глубина карьера, м; C – предельно-допустимая концентрация пыли, мг/м³; C₀ – начальная концентрация пыли, мг/м³; v - скорость ветра, м/с.

Вентиляционные выбросы из шахт создают ореол рассеяния, внешняя граница защитной зоны при этом не превышает 200 м.

2. Загрязнение почвы пылью с отвалов.

Граница защитной зоны составляет $20 \cdot H$ (где H – высота отвала, м) и не более 1 км.

3. Загрязнение вод токсичными веществами в дренажных водах.

Кратность разбавления сбрасываемых вод в реке фоновыми водами:

$$K = \frac{Q_p}{Q_{др}}$$

где Q_p и $Q_{др}$ – средний расход реки и дренажных вод, м³/с.

Например, при расходе реки 9 м³/с и дренажных вод 0,04 м³/с кратность разбавления составит $K=225$, соответственно во столько же раз уменьшится концентрация вредных веществ.

4. Вредное гидрохимическое воздействие хвостохранилищ на окружающую среду составляет не более 2-3 км (за счёт просачивания загрязнённых вод сквозь дамбу, коэффициент фильтрации 10-70 м/сутки).

Реабилитационные и компенсационные меры:

- утилизация горных выработок в хозяйственных или рекреационных целях,
- рекультивация почв, загрязнённых токсичными веществами,
- засыпка карьерных выработок породами отвалов, размещение отвалов в пределах карьеров (внутренние отвалы), на урановых месторождениях при засыпке карьеров создание глинистых горизонтов для экранирования эманации радона,
- присыпка пород из отвалов 3 м плодородной почвы,
- для ограничения воздействия шума следует опираться на технические и организационные мероприятия в соответствии с ГОСТом 12.1.003-83 "Шум, общие требования безопасности", в частности, создание поглощающих сооружений и посадка деревьев,
- компенсация отчуждённых сельскохозяйственных земель в физическом или денежном выражении.

Отвальное хозяйство

Меры по компенсации ущерба связаны с вложением средств для возмещения потерь в натуральном выражении или в виде денежной компенсации.

Меры по предупреждению ущерба:

- выбор конкурирующего объекта или альтернативной технологии, характеризующихся меньшими объемами отвалов,
- построение простейших сооружений для отвода подотвальных вод, а также построение станций по обезвреживанию подотвальных вод у подошв токсичных отвалов,
- отказ от строительства и выращивания с/х продукции в области ущербного воздействия отвалов,
- размещение отвалов в выработанном пространстве карьеров, чтобы сократить отвод земель под хозяйство карьера,
- размещение отвалов с учётом планирования рельефа (в оврагах).

Меры по ограничению ущерба:

- утилизация отвалов: доизвлечение полезного ископаемого из отвалов забалансовых руд методами КВ, ШВ или с использованием микробиологических методов, использование руд попутных компонентов, находящихся во вмещающих породах или породах вскрыши (например, железных руд на месторождениях марганца, флюоритовых руд на полиметаллических месторождениях и пр.), исполь-

зование пород отвалов в качестве закладочного строительного материала и т.п.; при выборе направления утилизации отвалов следует учитывать минеральный состав, радиоактивность и химическую реактивность слагающих пород, что позволит определить наилучший путь их утилизации,

- использование: в качестве материала засыпки карьера или закладки подземных горных выработок, для строительства водоотвальных сооружений и дорог в районе рудника.
- раздельное складирование отходов по видам потенциальных техногенных месторождений ,
- учёт стоимости земель, что стимулирует уменьшение удельной землеемкости.

Меры по ликвидации ущерба:

- планировании местности путем перемещения нейтральных отвалов с последующей рекультивацией и использованием в сельскохозяйственных или рекреационных целях,
- рекультивации не только горизонтальных поверхностей, но и откосов отвалов с целью противозерозионных мероприятий,
- консервация токсичных отходов с последующей присыпкой их 3 м плодородной земли и использованием рекультивированных площадей в сельскохозяйственных или рекреационных целях,
- биологическая рекультивация: галькование или пескование, известкование, гипсование и др.,
- захоронение твердых токсичных отходов в специально оборудованных хранилищах с дальнейшим использованием их в техногенных целях,
- дезактивация почв, загрязненных радионуклидами, до уровней, превышающих фоновые в небольшое количество раз, согласно концепции "разумно достижимых нижних уровней",
- рекультивация нарушенных земель с восстановлением сельскохозяйственной, рекреационной или селитебной их ценности, например, глубинная (до 1 м) вспашка.

ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ (ПРИМЕР)

ОВОС (оценка воздействия на окружающую среду) разработки любого месторождения ставит своей целью обеспечение экологически безопасной добычи полезного ископаемого. Основными источниками пыли и газовой выделений в карьере являются: работающее горно-транспортное оборудование, буровзрывные работы, поверхности автодорог, горных выработок и отвалов. Оценка вредного воздействия производится по методу, изложенному во временном методическом пособии по расчету выбросов от неорганизованных источников в промышленности строительных материалов⁶.

1. Расчет интенсивности пылевыведения в карьере

Таблица 11

⁶ НИПИОТстром, Новороссийск, 1985.

Основные источники пылевыведения

Источник пылевыведения	К-во источников (n)	Интенсивность пылевыведения источник (F) мг/с	Коэфф. одновременности работы источник (P)	Коэфф. пылеподавления (K _с)	Пылевыведение (П) мг/с
Забой экскаватора (Э-2503)	1	500	1,0	1,0	500
Забой скрепера ДЗ - 20	1	400	1,0	1,0	400
Забой бульдозера (Д-701; Д-521А)	2	250	0,6	1,0	300
Автосамосвалы при движении по карьерным автодорогам (КамАЗ-5510, дороги без покрытия)	3	5000	0,2	0,6	1800
Буровой станок (СБУ- 100)	1	1500	1,0	0,8	1200
Поверхность карьера и отвалов, включая откосы (Га)	250	25000	1,0	0,8	20000
ИТОГО					24200

Примечание: коэффициент пылеподавления определяется мероприятиями, которые были приняты в данном случае (например, пылеподавление водой).

Суммарная интенсивность пылевыведения карьера, с учетом запыленности от внешних источников, времени года и неучтенных источников составит:

$$P_k = K_{вн} K_n K_r \sum [(1-K_{эф}) F_i \cdot P_i] = 1,0 \times 1,1 \times 1,0 \times 24200 = 26700 \text{ мг/с}$$

где $K_{вн}$ - коэффициент, учитывающий запыленность от внешних источников; K_n - коэффициент неучтенных источников пыли; K_r - коэффициент, учитывающий время года, для лета $K_r = 1,0$; $K_{эф}$ - коэффициент эффективности применяемых средств пылеподавления; F_i - интенсивность пылевыведения i -м источником; P_i - коэффициент, учитывающий совместную работу нескольких однотипных источников.

При взрывании скважинных зарядов суммарной мощности 5 т, при $q=0,6 \text{ кг/м}^3$, возникает залповый выброс, величина которого составит:

$$\begin{aligned}
 P_{залп} &= P_k + P_{взр} = P_k + a_1 \times a_2 \times a_3 \times a_4 \text{ Д} \times 10^6 / t = \\
 &= 26,7 + \frac{4,5 \times 0,00002 \times 1,2 \times 0,5 \times 5000 \times 10^6}{10 \times 60} = 476,7 \text{ г/с}
 \end{aligned}$$

Схему движения воздуха в карьерном пространстве можно принять рециркуляционной. Размеры карьера, например: длина $L_K=600$ м; ширина $B_K=200$ м; глубина – $H=30$ м. При скорости движения воздуха 2 м/с, количество поступающего в карьер воздуха составит:

$$Q_K = 0,077 \times X_{cp} \times U_B \times L_K \times B_K = \\ = 0,077 \times 150 \times 2 \times 600 \times 200 = 2,77 \times 10^6 \text{ м}^3/\text{с}$$

где: X_{cp} — среднее расстояние от верхней бровки подветренного борта до забоя, м; U_B - среднее значение скорости ветра на поверхности, м/с; L_K - длина верхней бровки подветренного борта карьера, м.

Количество воздуха, естественно проветривающего карьер, составит:

$$Q_e = Q_K \cdot B_K = 2,77 \times 10^6 \cdot 200 = 5,54 \times 10^8 \text{ м}^3/\text{с} .$$

Объём рабочей зоны карьера, подлежащий проветриванию, равен:

$$V_{pz} = \Sigma \Pi_{pn} \times B_K \times H = 1,8 \times 10^6 \text{ м}^3 ,$$

при этом время проветривания равно:

$$T_{np} = 1,8 \times 10^6 / 2,77 \times 10^6 = 0,65 \text{ с}$$

Количество пыли за период проветривания рабочей зоны составит:

$$\Pi_{pz} = \Pi_K \times T_{np} = 26700 \times 0,65 = 17355 \text{ мг}$$

Уровень запылённости будет равен:

$$Y = \Pi_{pz} / V_{pz} = 17355 / 1,8 \times 10^6 = 0,0096 \text{ мг/м}^3 ,$$

Расчетное значение запыленности ниже ПДК ($0,15 \text{ мг/м}^3$). При орошении всех дорог значение запыленности снизится ещё на 20-40%.

При залповом выбросе уровень запыленности составит:

$$Y_3 = \Pi_{залп} \times T_{np} / V_{pz} = 476700 \times 0,65 / 1,8 \times 10^6 = 0,265 \text{ мг/м}^3 ,$$

что превышает ПДК, но, учитывая высокую скорость проветривания рабочей зоны карьера, специальных мероприятий по снижению уровня запыленности при залповых выбросах можно не предусматривать.

Выделение в атмосферу газов от работы дизельных двигателей горно-транспортных машин и взрывных работ незначительно, и содержание вредных компонентов будет существенно ниже ПДК.

Таким образом, специальных мероприятий по борьбе с газами и пылью в данном случае можно не предусматривать.

Санитарно-защитная зона в соответствии с требованиями СН245 -71 устанавливается для данного карьера, с учетом залповых выбросов при взрывных работах - 500 м от источника выброса. Граница санитарно-защитной зоны проходит по территории свободной от застройки, поэтому специальных мероприятий по организации можно не предусматривать.

2. Расчет интенсивности выделения газов и вредных компонентов в атмосферу

Выделение в атмосферу газов происходит от работы дизельных двигателей карьерных машин. Интенсивность газовыделения представлена в табл. 12.

Таблица 12

Источники и интенсивность газовыделения в карьере

Источники выделения газов	Количество источников	Количество выделенных газов, м ³ /с	Коэффициент одновременности работы	Интенсивность газовыделения, м ³ /с
Погрузчик	1	0,53	1,0	0,53
Бульдозер	2	0,33	0,6	0,396
Автосамосвалы	5	0,34	0,4	0,68
Итого:				1,606

Расчет содержания вредных компонентов в рабочей зоне карьера для сравнения их с ПДК представлен в табл. 13.

Содержание вредных компонентов, выделяемых постоянными источниками, значительно ниже значений ПДК. Следовательно, специальных мероприятий по борьбе с вредными газами и другими веществами можно не предусматривать.

При взрывных работах загрязнение атмосферы происходит не только за счет выделения твердых частиц, но и за счет продуктов сгорания взрывчатых веществ в виде газов, основными из которых являются оксиды углерода и азота. Концентрация этих газов сразу после взрыва в карьере составит, при использовании в качестве ВВ аммонита 6ЖВ и граммонита 79/21, в сумме 20,28 мг/м³. Такая концентрация во много раз превышает ПДК. За счет естественного проветривания содержание вредных газов уменьшается. Время, необходимое для естественного проветривания, составит несколько минут.

3. Расчет зоны загрязнения воздушной среды

Расчет зоны загрязнения воздушной среды выполнен для постоянных источников загрязнения.

1) Вынос пыли и газа термическими силами составит:

$$R_{\max} = 20 \psi h = 20 \cdot 1,05 \cdot 2 = 42 \text{ м,}$$

где: ψ - температурный коэффициент, $\psi=1,05$; h - высота выброса пыли и газа, м.

Содержание вредных компонентов в рабочей зоне карьера

Компоненты	% содержание к объему выброса газа	Максимальная интенсивность выделения компонентов, м ³ /с	Объем за время проветривания карьера, м ³	Содержание в рабочей зоне карьера, м ³ /м ³	% содержание в рабочей зоне карьера
Окислы азота	0,0002-0,5	6,54 10 ⁻³	4,9 10 ⁻³	1,28 • 10 ⁻⁸	1,28 10 ⁻⁶
Окись углерода	0,01-0,5	6,54 10 ⁻³	4,9 10 ⁻³	1,28 • 10 ⁻⁸	1,28 • 10 ⁻⁶
Углеводороды	0,009-0,5	6,54 10 ⁻³	4,9 10 ⁻³	1,28 • 10 ⁻⁸	1,28 • 10 ⁻⁶
Альдегиды	0,001 - 0,009	1,18 10 ⁻⁴	0,9 10 ⁻⁴	2,2 10 ⁻¹⁰	2,2 10 ⁻⁸
Сажа	0,01-1,1	0,0144	0,01	2,8 • 10 ⁻⁸	2,8 • 10 ⁻⁶

2) Граница рассеивания пылегазового облака **силой ветра** после массового взрыва на карьере⁷, по ВНИИБТГ м:

$$L = 1.21 v^{-1.59} \exp(-0.0018H) \left[-\ln\left(\frac{C}{C_0}\right) (2925 v^2 + 497.5 v - 500) \right] =$$

$$= 11,76 \text{ км}$$

где **H** – глубина карьера, например, 30 м; **C** – предельно-допустимая концентрация пыли, 0,15 мг/м³; **C₀** – начальная концентрация пыли, например, 0,05 мг/м³; **v** - скорость ветра, например, 2 м/с.

Таким образом, в радиусе 42 м от источника пыли и газов произойдет полное осаждение пыли, но силой ветра после массового взрыва облако рассеивается лишь на расстоянии 11,76 км от карьера. Учитывая, что в этой зоне не находятся природоохранные объекты, специальных мероприятий по ограничению выброса пыли можно не предусматривать.

4. Мероприятия по защите от шума

В карьере защищенными от шума являются рабочие места (кабины горного оборудования) и передвижной вагончик (раскомандировочная).

Источниками шума являются горное оборудование - работа дизельных двигателей. Для обеспечения допустимого уровня шума предусмотрено использование следующих способов:

⁷ Ушаков К.З., Михайлов В.А. Аэрология карьеров. – М.: Недра, 1985, с. 39.

- звукоизоляция рабочих мест и бытового помещения;
- эксплуатация оборудования в щадящем режиме;
- использование индивидуальных средств защиты от шума.

Расстояние от действующего карьера до ближайшего жилья дачного поселка, предположим, 40 м. Другие застройки находятся на значительном удалении. В зоне, примыкающей к дачному поселку, взрывные работы по проекту не ведутся. Уровень шума близок к допустимому.

5. Установление санитарно-защитной зоны

В соответствии с требованиями СН245-71 карьер относится к предприятиям с размером санитарно-защитной зоны 50 м от источников выброса вредных веществ, что превышает расчетную зону загрязнения воздушной среды. В этой связи специальных мероприятий по организации можно не предусматривать.

Список литературы

А. Основная учебная литература.

1. Ушаков К.З., Бурчаков А.С., Пучков Л.А., Медведев И.И. Аэрология горных предприятий. - М.: Недра, 1987. – 421 с.
2. Ушаков К.З., Михайлов В.А. Аэрология карьеров. – М.: Недра, 1985.

Б. Дополнительная литература и учебные материалы.

1. Порцевский А.К., Комаров Е.И. Вентиляция шахт. Аэрология карьеров. Учебное пособие с грифом УМО для студентов специальностей 0901, 0902, 0904, 0905. – М.: МГОУ, 2004, 49 с. (1 издание).
2. Аэрология горных предприятий. Рабочая программа, методические указания и контрольные задания для студентов специальностей 090100, 090200, 090400, 090500. М.: МГОУ, 2002, 15 с.
3. Кирин Б.Ф. Методические указания по составлению раздела «Аэрология подземных сооружений» в дипломных проектах студентов специальности 090400. – М.: МГГУ, 2000, 41 с.
4. Машковцев И.Л., Балыхин Г.А. Аэрология и охрана труда на шахтах и в карьерах. – М.: изд. УДН, 1986, 312 с.
5. Айруни А.Т. Способы борьбы с выделением метана на угольных шахтах. – М.: Обзор ЦНИЭИуголь, 1991, 65 с.
6. Галазов Р.А., Айруни А.Т., Сергеев И.В. и др. Газообильность каменноугольных шахт СССР. Эффективные способы искусственной дегазации угольных пластов на больших глубинах. – М.: Наука, 1987, 198 с.
7. Айруни А.Т. Теория и практика борьбы с рудничными газами на больших глубинах. – М.: Недра, 1981, 329 с.
8. Ножкин И.В. Заблаговременная дегазация угольных месторождений. – М.: Недра, 1979, 271 с.

В. Справочная литература.

1. Рудничная вентиляция: Справочник под ред. К.З.Ушакова.- М.: Недра, 1988. – 440 с.
2. Справочник по горнорудному делу. – Под ред. В.А.Гребенюка. – М.: Недра, 1983. - 816 с.
3. Справочник по горнорудному делу (книга вторая). – Под ред. А.М.Терпигорева. – М.: Гослит по чёрной и цветной металлургии, 1952.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	2
Глоссарий наиболее употребляемых терминов	4
Значение кислорода и углекислого газа по теории К.Бутейко	6
I Аэрология рудников и шахт	9
Естественная тяга	9
Главные ядовитые примеси рудничного воздуха	10
Классификация способов борьбы с рудничной пылью	15
Климатические условия в шахтах	18
Основные понятия шахтной аэродинамики	19
Шахтные вентиляционные сети	23
Расчёт параметров проветривания тупиковых проходческих забоев	25
Расчёт параметров проветривания тупиковых очистных забоев	27

Расчёт параметров проветривания забоев лавообразных выработок	27
Расчёт расхода воздуха по шахте в целом	28
Источники движения воздуха в шахте	30
Способы дегазации метанообильных шахт	32
II Аэрология карьеров	38
Атмосфера и микроклимат карьеров	38
Состав атмосферного воздуха карьеров	38
Источники загрязнения атмосферы карьеров	40
Схемы естественного проветривания карьеров	41
Термодинамика атмосферы карьеров	42
Источники тепла	42
Термические силы и их влияние на состояние атмосферы карьеров	43
1. Прямоточная схема проветривания	44
2. Рециркуляционная схема проветривания	46
3. Комбинированные схемы проветривания	48
Проветривание карьеров энергией термических сил	48
Конвективная схема проветривания	49
Инверсионная схема движения воздуха	50
Комбинированное проветривание карьеров	52
Искусственная вентиляция карьеров	53
Интенсификация естественного воздухообмена	55
Технические средства при вентиляции свободными струями	59
Величина ущерба от загрязнения окружающей среды	59
Оценка воздействия на окружающую среду	61
Список литературы	66