



Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева»

Кафедра аэрологии, охраны труда и природы

Виктор Леонидович Мартьянов

## **АЭРОЛОГИЯ ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

**Электронное учебное пособие**

Кемерово 2016

© КузГТУ, 2016

© В. Л. Мартьянов, 2016

[Вперед→](#)

Рецензент(ы) Шевченко Л. А. – доктор технических наук, профессор кафедры аэрологии, охраны труда и природы ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева»

**Мартьянов В. Л. Аэрология горных предприятий [Электронный ресурс] :** учебное пособие для студентов направления подготовки 20.03.01 «Техносферная безопасность» профиля «Безопасность технологических процессов и производств» / В. Л. Мартьянов; КузГТУ. – Кемерово, 2016.

Рассматривается состав атмосферы карьеров и предъявляемые к ней требования, элементы создаваемого в процессе производства микроклимата, источники загрязнения, свойства вредных и ядовитых газов, пыли, выделяющихся в карьер, их воздействие на организм человека. Приводятся способы пылеулавливания и пылеподавления, нейтрализации вредных газов, нормализации атмосферы путем изменения техники и технологии, удаления вредных примесей из карьера с помощью аспирационных систем, естественного проветривания и искусственной вентиляции, создания благоприятного микроклимата на рабочих местах. Приводятся сведения о проектировании вентиляции, приборах и контроле состояния атмосферы карьеров.

### Текстовое (символьное) электронное издание

Минимальные системные требования:	Частота процессора не менее 1,0 ГГц; ОЗУ 512 Мб; 20 Гб HDD; операционная система Windows XP; CD-ROM 4-скоростной; ПО для чтения файлов PDF-формата; SVGA-совместимая видеокарта; мышь.
-----------------------------------	--

© КузГТУ, 2016

© В. Л. Мартьянов, 2016

[Вперед→](#)

Сведения о программном обеспечении, которое использовано для создания электронного издания	MS Word
Сведения о технической подготовке материалов для электронного издания	Редактор 3. М. Савина
Объем издания в единицах измерения объема носителя, занятого цифровой информацией (байт, Кб, Мб)	3,08 Мб
Комплектация издания (количество носителей, наличие сопроводительной документации)	1 CD-диск
Наименование и контактные данные юридического лица, осуществившего запись на материальный носитель	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева» 650000, Кемерово, ул. Весенняя, 28 Тел./факс: 8(3842) 58-35-84

[Вперед](#) →

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ .....</b>	<b>8</b>
<b>1. АТМОСФЕРА КАРЬЕРОВ И ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ ЕЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ...</b>	<b>9</b>
<b>1.1. Атмосфера и микроклимат карьеров .....</b>	<b>9</b>
<b>1.1.1. Климатические условия в районах открытой угледобычи полезных     ископаемых .....</b>	<b>9</b>
<b>1.1.2. Состав атмосферы карьеров и требования к ней .....</b>	<b>10</b>
<b>1.1.3. Основные элементы микроклимата карьера .....</b>	<b>12</b>
<b>1.1.4. Источники загрязнения атмосферы карьеров .....</b>	<b>13</b>
<b>1.2. Способы нормализации атмосферы карьеров по пылевому и газовому факторам.....</b>	<b>14</b>
<b>1.2.1. Общие сведения.....</b>	<b>14</b>
<b>1.2.2. Пылеулавливание.....</b>	<b>14</b>
<b>1.2.3. Пылеподавление .....</b>	<b>18</b>
<b>1.2.4. Нейтрализация вредных газов.....</b>	<b>19</b>
<b>1.2.5. Нормализация атмосферы путем изменения техники и технологии</b>	<b>20</b>
<b>1.2.6. Удаление вредных примесей из карьера.....</b>	<b>20</b>
<b>1.2.7. Создание микроклимата на рабочих местах .....</b>	<b>21</b>
<b>1.3. Снижение поступления пыли при буровзрывных работах.....</b>	<b>21</b>
<b>1.3.1. Пылеподавление и пылеулавливание при бурении скважин ...</b>	<b>21</b>
<b>1.3.2. Снижение пылевыделения при производстве взрывных работ.</b>	<b>23</b>
<b>1.4. Борьба с пылью при выемочно-погрузочных работах .....</b>	<b>24</b>
<b>1.4.1. При работе одноковшовых экскаваторов.....</b>	<b>24</b>
<b>1.4.2. При работе роторных экскаваторов .....</b>	<b>24</b>
<b>1.5. Снижение пылевыделения при транспортировании .....</b>	<b>25</b>
<b>1.5.1. Борьба с пылью на автодорогах .....</b>	<b>25</b>
<b>1.5.2. При железнодорожном транспорте .....</b>	<b>25</b>
<b>1.5.3. При конвейерном транспорте .....</b>	<b>26</b>
<b>1.5.4. Снижение запыленности при использовании комбинированного     транспорта.....</b>	<b>27</b>
<b>1.6. Снижение пылевыделения при применении циклично-поточной технологии .....</b>	<b>27</b>
<b>1.6.1. Общие сведения.....</b>	<b>27</b>
<b>1.6.2. Борьба с пылью при работе самоходных дробильных агрегатов ...</b>	<b>27</b>
<b>1.6.3. Предотвращение пылевыделения на полустационарных     перегрузочных узлах .....</b>	<b>28</b>
<b>1.7. Снижение поступления вредных газов в атмосферу карьеров .....</b>	<b>28</b>
<b>1.7.1. Снижение газовыделения при бурении скважин.....</b>	<b>28</b>

1.7.2. Снижение загазованности при взрывных работах .....	29
1.7.3. Нейтрализация вредных газов при работе двигателей внутреннего сгорания (ДВС) .....	29
1.7.4. Борьба с пожарами на карьерах .....	30
1.7.5. Предотвращение газовыделения из грунтовых вод и пород .....	32
1.8. Предотвращение поступления вредностей от внешних источников в карьер .....	33
1.8.1. Взаимодействие атмосферы карьера и прилегающих районов .....	33
1.8.2. Снижение интенсивности выделения вредностей от внешних источников .....	33
1.9. Создание благоприятных условий труда на рабочих местах.....	35
1.9.1. Тепловые условия в кабинах оборудования .....	35
1.9.2. Охлаждение воздуха в системах кондиционирования .....	35
1.9.3. Очистка воздуха кабин .....	37
1.9.4. Подогрев воздуха в системе кондиционирования.....	37
1.9.5. Распределение воздуха в кабинах.....	37
Вопросы для самоконтроля .....	38
<b>2. АЭРОМЕХАНИКА АТМОСФЕРЫ КАРЬЕРОВ .....</b>	<b>39</b>
2.1. Законы естественного воздухообмена в карьерах.....	39
2.1.1. Основные законы аэростатики .....	39
2.1.2. Основные законы аэродинамики .....	40
2.1.3. Свободные турбулентные струи .....	41
2.1.4. Движение воздуха в трубах (ограниченные потоки) .....	44
2.1.5. Движение воздуха в карьере.....	46
2.1.6. Схемы естественного проветривания карьеров.....	47
2.2. Термодинамика атмосферы карьеров .....	48
2.2.1. Источники тепла .....	48
2.2.2. Температурная стратификация атмосферы .....	49
2.2.3. Термические силы и их влияние на атмосферу карьера.....	49
2.2.4. Туманообразование .....	50
2.3. Газовая динамика карьеров .....	51
2.3.1. Основные понятия.....	51
2.3.2. Распространение газов из точечных и линейных источников..	52
2.3.3. Распространение газов при взрывных работах.....	54
2.4. Пылевая динамика карьеров .....	54
2.4.1. Основные законы.....	54
2.4.2. Распространение пыли точечными и линейными источниками	55
2.4.3. Распространение пыли при взрывных работах .....	56
2.4.4. Запыленность карьера в целом .....	56

Вопросы для самоконтроля .....	56
<b>3. ЕСТЕСТВЕННОЕ ПРОВЕТРИВАНИЕ КАРЬЕРОВ .....</b>	<b>58</b>
3.1. Проветривание карьеров энергией ветра .....	58
3.1.1. Общие сведения .....	58
3.1.2. Прямоточная схема проветривания .....	58
3.1.3. Рециркуляционная схема проветривания .....	60
3.1.4. Комбинированные схемы ветрового проветривания .....	61
3.2. Проветривание карьеров энергией термических сил .....	62
3.2.1. Общие сведения .....	62
3.2.2. Конвективная схема проветривания .....	62
3.2.3. Инверсионная схема движения воздуха .....	63
3.3. Комбинированное проветривание карьеров .....	63
3.3.1. Схемы комбинированного проветривания .....	63
Вопросы для самоконтроля .....	64
<b>4. ИСКУССТВЕННАЯ ВЕНТИЛЯЦИЯ КАРЬЕРОВ .....</b>	<b>65</b>
4.1. Условия применения и способы искусственной вентиляции .....	65
4.2. Интенсификация естественного воздухообмена .....	65
4.3. Вентиляция с применением труб и использованием выработок ...	68
4.4. Технические средства при вентиляции свободными струями .....	68
4.4.1. Классификация технических средств .....	68
4.5. Структуры струй .....	71
4.6. Схемы вентиляции свободными струями .....	72
4.6.1. Общие положения .....	72
4.6.2. Схемы местной вентиляции .....	74
4.6.3. Схемы общеобменной вентиляции .....	76
Вопросы для самоконтроля .....	78
<b>5. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВЕНТИЛЯЦИИ КАРЬЕРОВ .....</b>	<b>79</b>
5.1. Общие сведения .....	79
5.2. Оценка природных условий в районе карьера .....	80
5.3. Влияние технологии разработки на атмосферу карьеров .....	80
5.4. Определение параметров естественного проветривания карьеров .....	82
5.5. Определение количества и содержания вредных веществ в атмосфере карьера, необходимого расхода воздуха для проветривания, выбор вентиляторных установок и их числа .....	84
5.6. Интенсификация естественного проветривания и мероприятия по оздоровлению атмосферы карьеров .....	87
5.7. Определение периодов и масштабов применения средств искусственной вентиляции в карьерах .....	89
5.8. Определение расхода воздуха для вентиляции карьеров .....	89

<b>5.9. Места расположения вентиляторных установок и схемы вентиляции .</b>	<b>91</b>
<b>5.10. Оценка эффективности применения искусственной вентиляции..</b>	<b>93</b>
<b>5.11. Оценка экономической эффективности искусственной вентиляции .</b>	<b>93</b>
<b>Вопросы для самоконтроля .....</b>	<b>94</b>
<b>6. ПЫЛЕВЕНТИЛЯЦИОННАЯ СЛУЖБА И КОНТРОЛЬ СОСТОЯНИЯ АТМОСФЕРЫ КАРЬЕРОВ.....</b>	<b>95</b>
<b>6.1. Организация пылевентиляционной службы (ПВС).....</b>	<b>95</b>
<b>6.2. Приборы и методы контроля состояния атмосферы карьеров .....</b>	<b>95</b>
<b>Вопросы для самоконтроля .....</b>	<b>99</b>
<b>РЕКОМЕНДУЕМЫЙ СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....</b>	<b>100</b>

## ВВЕДЕНИЕ

Разработка месторождений открытым способом имеет неоспоримые преимущества по сравнению с другими в единичной мощности горного предприятия и оборудования, производительности труда и затратах на производство продукции. Более 75 % всего минерального сырья в мире добывается открытым способом.

Интенсификация открытой добычи полезных ископаемых и, как следствие, углубление горных работ обостряет проблему обеспечения нормальных аэрологических условий в карьерах. Еще более обостряет эту проблему современная тенденция внедрения, хотя и высокоэффективных, но не электрических, а автономных дизель-гидравлических буровых станков и экскаваторов, мощных автосамосвалов, что увеличивает объем выброса в атмосферу карьеров вредных газов при сжигании топлива в двигателях внутреннего сгорания.

Аэрология горных предприятий – отрасль горной науки, изучающая свойства атмосферы, в частности, карьеров, и происходящие в ней аэромеханические и термодинамические процессы с целью создания на открытых горных разработках нормальных санитарно-гигиенических условий труда.

Аэрология горных предприятий опирается на достижения ряда смежных наук о Земле: геологии, метеорологии, аэромеханики и термодинамики.

Для решения специфических вопросов в условиях открытых горных работ аэрология горных предприятий использует законы: состояния земной атмосферы, солнечной радиации, прогноза погоды, аэростатики, турбулентного движения воздуха, свободных струй, диффузии газов, механики аэрозолей, теплообмена, механики турбомашин и др.



# 1. АТМОСФЕРА КАРЬЕРОВ И ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ ЕЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ

## 1.1. Атмосфера и микроклимат карьеров

### 1.1.1. Климатические условия в районах открытой угледобычи полезных ископаемых

Карьеры, разрабатывающие полезные ископаемые, размещаются в различных районах России, климат которых разнообразен.

Выделяются **три климатических пояса**: *арктический* (вдоль Северного Ледовитого океана), *умеренный* (практически большая территория России) и *субтропический* (Черноморское побережье).

Имеется также классификация по средним температурам января и июля, в соответствии с которыми территория делится на **четыре климатических района**: холодный, умеренный, теплый и жаркий.

Организм человека комфортно себя чувствует и наиболее приспособлен к средним умеренным условиям. На его самочувствие влияют как низкие, так и высокие температуры, но также скорость ветра и влажность воздуха.

Если при высоких температурах ветер благоприятно сказывается на самочувствии человека, то зимой, при низких температурах, наоборот. Для оценки влияния низкой температуры и ветра на организм человека принят специальный показатель, называемый **жесткостью погоды**. По физиологическому восприятию человеком при низких температурах увеличение скорости ветра на 0,5 м/с равноценно, отсчитывая от измеряемой в данный момент температуры воздуха, дополнительному ее понижению на 1°С. Жесткость погоды зимой выражается в баллах и определяется по следующей формуле:

$$Ж = t + 2v,$$

где  $t$  – абсолютная температура воздуха, °С;  $v$  – скорость ветра, м/с.

По жесткости погоды в баллах вся территория России разделена также на 4 района: менее 10; 10-20; 20-40; более 40. В соответствии с жесткостью погоды имеется еще одно деление территории России на **3 зоны** вечной мерзлоты: северная, умеренная и южная.

К северной зоне вечной мерзлоты (20-40 и более 40 баллов) относятся территории, расположенные севернее условной линии, проходящей через города: Сыктывкар – Екатеринбург – Омск – Новосибирск – Минусинск – Черемхово – Благовещенск – Петропавловск-Камчатский. Для этих районов устанавливается особый режим работы карьеров с меньшим количеством рабочих дней в году, смен в течение суток. Предусматриваются периодический обогрев рабочих и устанавливаются специальные доплаты в соответствии с так называемым северным коэффициентом. Проведя эту линию на карте,

можно видеть, что к этой зоне относится значительно больше половины территории России.

К южной зоне относятся те районы, которые расположены южнее условной линии, проходящей через города Брянск – Орел – Белгород – Волгоград – Астрахань (менее 10 баллов).

Между этими условными линиями располагается умеренная зона.

Влажность воздуха специальными показателями не учитывается, хотя ее высокое значение, что часто характерно в прибрежных районах, при любых температурах неблагоприятно сказывается на самочувствии человека.

### 1.1.2. Состав атмосферы карьеров и требования к ней

Атмосферный воздух представляет собой смесь газов, из которых основными являются: азот (79 %); кислород (20,96 %); углекислый газ (0,04 %). В воздухе, кроме смеси газов, содержатся водяные пары и тонкодисперсные смеси пыли.

Воздух в карьерах рассматривается как обычный атмосферный воздух, в котором дополнительно содержатся ядовитые газы и пары различных соединений:

1. Аллотропический вид кислорода – **озон**, который является сильным окислителем и образуется в результате электрических разрядов при грозе, сварке, работе электромашин, а так же различных процессах окисления вскрытых пород карьера. Предельно допустимая концентрация (ПДК) озона в воздухе **рабочей зоны** (слой воздуха до двух метров от поверхности) составляет  $0,1 \text{ мг/м}^3$ .

2. **Азот** – безвреден, но при высоких температурах прогретой поверхности в рабочей зоне карьера может вступать в соединения с кислородом и водородом, образуя ядовитые газы.

3. **Углекислый газ** ( $\text{CO}_2$ ) – считается безвредным для людей при содержании его в воздухе не более 0,5 %. Дополнительными источниками поступления его в атмосферу карьера являются подземные воды, взрывные работы (ВР), пожары, горение и тление пластов угля, работа двигателей внутреннего сгорания и др.

4. Из окислов азота наибольшую опасность представляет **двуокись азота** ( $\text{NO}_2$ ). Этот газ воздействует на дыхательные пути человека. Смертельная концентрация по объему составляет около 0,02 %. Источниками являются ВР (периодически) и двигатели внутреннего сгорания (постоянно).

5. **Окись углерода** ( $\text{CO}$ ) – вытесняет из крови кислород, соединяясь с гемоглобином. Сильное отравление наступает при длительном вдыхании воздуха с содержанием в нем окиси углерода 0,01 %. Источниками поступления этого газа в карьер являются ВР, двигатели внутреннего сгорания, горение и окисление пластов угля и др.

При оценке газообразных продуктов взрыва используется понятие «**условная окись углерода**». Это собственно окись углерода, образующаяся

при взрыве взрывчатого вещества (ВВ), и двуокись азота, пересчитанная на СО. При этом за 1 литр двуокиси азота принимается 6,5 литра СО.

6. **Сернистый газ** ( $\text{SO}_2$ ) – при концентрации 0,05 % даже при кратковременном вдыхании опасен для жизни человека. Его источники: ВР и пожары.

7. **Альдегиды** или органические соединения ( $\text{RCHO}$ ), содержащие альдегидную группу, связанную с углеводородным радикалом ( $\text{R} = \text{CH}_3, \text{C}_6\text{H}_5$  и др.). Из них наиболее опасными являются:

– **акролеин** ( $\text{CH}_2\text{CHCOH}$ ) присутствует в воздухе рабочей зоны в виде паров. Его содержание в концентрации 0,014 % опасно для жизни;

– **формальдегид** ( $\text{CH}_2\text{O}$ ) при концентрации 0,002 % вызывает различные тяжелые расстройства здоровья человека.

Основным источником альдегидов в атмосфере карьера являются двигатели внутреннего сгорания различных машин.

8. **3,4-бензопирен** – канцерогенное вещество в отработанных газах двигателей внутреннего сгорания. Его переносчиком является сажа выхлопных газов. При непосредственном контакте с живой тканью сажи возникают злокачественные опухоли. ПДК составляет всего 0,00015 мг/м<sup>3</sup>.

9. **Радон** – радиоактивный газ, образующийся при распаде радия. Выделяется при разработке в основном бурогольных месторождений.

При разработке месторождений полезных ископаемых в атмосферу карьеров выделяется также **пыль**, которая представляет собой мелкие твердые частицы с размером менее 0,1 мм. Пыль может быть ядовитой, неядовитой, радиоактивной.

*Ядовитые пыли* содержат свинец, ртуть, мышьяк и т.д. Вдыхание этих пылей приводит к специфическим профессиональным заболеваниям, которые могут быть тяжелыми.

*Неядовитые пыли*, например кварцевая, угольная, силикатная, алюминиевая, железная и др. Их длительное вдыхание вызывает различные пневмокониозы, также относящиеся к тяжелым профессиональным заболеваниям: силикоз, антракоз, силикатоз, металлокониозы (алюминокониоз, ферумокониоз и др.).

*Радиоактивные пыли*, кроме обычного воздействия, представляют большую опасность для здоровья. Они могут привести к злокачественным опухолям.

Особо опасными по размерам являются частицы пыли менее 2 мкм.

На все пыли разработаны и определены ГОСТ 12.1.005-88 предельно допустимые концентрации содержания в мг на 1 м<sup>3</sup>.

Ядовитые газы, пары и различные пыли объединяются одним понятием **«вредные вещества»** или **«вредности»**.

В случае содержания в воздухе рабочей зоны карьера нескольких вредных веществ одностороннего действия, т.е. веществ, близких по химическому строению и характеру биологического воздействия на организм человека, должно выдерживаться следующее соотношение:

$$C_1 / ПДК_1 + C_2 / ПДК_2 + \dots + C_n / ПДК_n \leq 1,$$

где  $C_i$  – фактические концентрации вредных  $i$ -х веществ в воздухе;  $ПДК_i$  – предельно допустимые концентрации вредных веществ в воздухе.

Для радиоактивных веществ в соответствии с *нормами радиоактивной безопасности* (НРБ) существует *предельно допустимое поступление* (ПДП) радионуклида в организм рабочих. Для радона (без продуктов распада) ПДП в год составляет  $3,8 \cdot 10^3$  мкКи, а допустимая концентрация ( $ДК_A$ ) составляет  $1,5 \cdot 10^{-9}$  Ки/л.

### 1.1.3. Основные элементы микроклимата карьера

**Микроклимат** – это климат приземного слоя воздуха. Основными характеристиками, которые определяют накопление и вынос вредностей, являются скорость воздуха и температурный режим, а также влажность атмосферы.

**Скорость воздуха в карьерах** определяется скоростью воздуха на поверхности земли и температурным режимом карьеров. При скорости ветра на поверхности более 2 м/с, скорость движения воздуха в карьере определяется энергией ветрового потока. При меньшей скорости на поверхности скоростное поле в карьере определяется термическим фактором.

Скорость ветра у поверхности земли в среднем возрастает к полудню, затем уменьшается, достигая минимальных значений в ночное время. Скорость воздуха в карьере обычно меньше, чем на поверхности.

При относительно высокой скорости ветра на поверхности в карьере могут образовываться местные достаточно мощные потоки с большими горизонтальными скоростями.

Термические силы вызываются прогревом или охлаждением воздуха у бортов карьера и могут существенно изменять в нем скорость движения воздуха. При небольших скоростях ветра термические силы могут формировать вертикальные потоки. Например, интенсивное прогревание солнцем бортов карьеров вызывает мощные восходящие потоки, скорость которых может достигать 5-6 м/с.

**Температура воздуха в карьерах** определяется температурой воздуха на поверхности, естественным сжатием воздуха, тепловыделяющими и теплопоглощающими процессами в карьерах и состоянием его атмосферы.

Температура изменяется в течение года и суток и ход ее в карьере связан с ходом температуры на поверхности. Наибольшая амплитуда хода – летом, а наименьшая – зимой, что связано с солнечной радиацией. Температура воздуха в карьере выше, чем на поверхности вследствие естественного сжатия, облучения солнцем (инсоляции) карьерной выемки, наличия дополнительных источников тепла (прогрев северных бортов) и др.

**Влажность воздуха в карьерах** может способствовать образованию тумана, мглы, снижению видимости, что затрудняет ведение горных работ,

снижает прогрев бортов солнцем и конвективный воздухообмен в карьере. Увеличению естественной влажности могут способствовать различные процессы и мероприятия, проводимые в карьере: гидромеханизация, тушение горящих пластов угля, водоотлив, орошение дорог и подготовленных к взрыванию блоков и т.д.

Относительная влажность имеет суточный и годовой ход, понижаясь в дневные часы и летом, что связано с увеличением температуры и уменьшением абсолютной влажности из-за вертикального воздушного обмена.

#### 1.1.4. Источники загрязнения атмосферы карьеров

Загрязнение атмосферы карьеров пылью и вредными газами (вредностями) происходит от ряда различных источников в карьере. Интенсивность источников выделения загрязнений зависит от свойств, состояния горных пород и климатических и погодных условий, техники и технологии разработки, способов и эффективности подавления пыли и вредных газов.

**По месту расположения** источники разделяются на *внешние и внутренние*.

*Внешние* источники располагаются за пределами верхнего контура карьера (дробильные, обогатительные фабрики, отвалы, дороги, котельные и т.п.).

*Внутренние* – в пределах контура карьера по поверхности (буровые станки, экскаваторы, автосамосвалы, бульдозеры, пожары, газовыделения из обнаженных пород и подземных вод и т.д.).

**По рассредоточению** источники вредностей делятся на *точечные* (бурстанки, экскаваторы и др.), *объемные* (пылегазовое облако взрыва), *линейные* (автодороги, пластовые газы) и *равномерно распределенные* (выветривание бортов, почвы).

**По времени действия** источники разделяются на *непрерывные* (например, горные машины) и *периодические* (взрывы).

**По положению в карьере** они могут быть *стационарные* (дробилки, грохота, конвейера), *полустационарные* (буровые станки, экскаваторы, бульдозеры) и *перемещающиеся* (транспортные сосуды).

Интенсивность выделения вредностей определяется содержанием пыли или ядовитых газов в единице объема воздуха и его количеством, проходящим через источник их выделения.

Для единичного источника с организованным выбросом (бурстанки с пылеулавливающей системой, двигатели внутреннего сгорания (ДВС) и др.) интенсивность выделения вредностей  $g_n$ , мг/с, в атмосферу карьеров может быть определена по формуле:

$$g_n = Q_v \cdot C_v,$$

где  $Q_v$  – средний дебит воздуха, выходящего из организованного выброса, м<sup>3</sup>/с;  $C_v$  – средняя концентрация пыли или ядовитых газов в воздухе, выбрасываемом в атмосферу карьера, мг/с.

Общая интенсивность выделения вредностей в атмосферу карьера составит:

$$G_{об} = g_{т} + g_{л} + g_{р.р.} + g_{вн},$$

где  $g_{т}$  – интенсивность выделения вредностей из внутренних точечных источников, мг/с;  $g_{л}$  – из внутренних линейных источников, мг/с;  $g_{р.р.}$  – из внутреннего равномерно распределенного источника, мг/с;  $g_{вн}$  – интенсивность поступления в карьер вредностей от внешнего источника, мг/с.

Для точечных источников суммарная интенсивность выделения вредностей составит:

$$g_{т} = n_1 \cdot k_1 \cdot g_1 + \dots + n_n \cdot k_n \cdot g_n,$$

где  $n_1, \dots, n_n$  – число однотипных источников в карьере;  $k_1, \dots, k_n$  – отношения для каждого типа оборудования всего работающего к используемому (числящемуся) оборудованию на период расчета в карьере или коэффициенты одновременности выделения вредностей однотипными источниками;  $g_1, \dots, g_n$  – интенсивность выделения вредностей единичным источником каждого типа, мг/с.

## 1.2. Способы нормализации атмосферы карьеров по пылевому и газовому факторам

### 1.2.1. Общие сведения

Большое разнообразие источников загрязнения атмосферы карьеров пылью и вредными газами определяет и необходимость применения различных способов нормализации атмосферы по этим факторам.

Для снижения запыленности воздуха применяют *пылеулавливание* и *пылеподавление*, а для снижения загазованности осуществляют *нейтрализацию вредных газов*.

Одновременное снижение запыленности и загазованности воздуха в карьерах, в первую очередь достигается применением менее вредных по пылевому и газовому факторам техники и технологии производства горных работ, а также интенсификацией проветривания внутреннего пространства карьеров.

Выбор средств нормализации атмосферы карьеров осуществляется в тесной связи с характеристиками источников выделения пыли и газов, а также с естественным проветриванием.

### 1.2.2. Пылеулавливание

Пылеулавливание в карьерах предусматривает **аспирацию** запыленного воздуха в местах пылеобразования и его **очистку** в пылеулавливающих

аппаратах. Для перемещения воздуха в этих системах применяются *вентиляторы* и *дымососы*.

Для аспирации запыленного воздуха в местах пылеобразования используются *местные укрытия* различной конструкции.

Местное укрытие очага выделения пыли может быть *полным* или *частичным*. Полное укрытие наиболее совершенно и экономично, но почти не применяется в карьерах. Наибольшее распространение получили конструкции частичного укрытия и местные отсосы. Это, например различные кожухи, зонты, щелевые отсосы и др.

В частичных укрытиях создается искусственное разрежение воздуха. Оно обеспечивает направленное движение воздушных потоков из окружающей среды в аспирационную систему. И этим предотвращает распространение пыли в атмосферу карьера.

Количество отсасываемого воздуха от укрытия зависит от герметичности, площади неплотностей (герметизации) и разрежения в отсасывающей системе:

$$Q_{от} = F_n \cdot v_n,$$

где  $F_n$  – площадь неплотностей в укрытиях,  $m^2$ ;  $v_n$  – скорость воздуха в неплотностях,  $m/s$ .

Осаждение пыли в воздухопроводах происходит благодаря силам *гравитации, центробежной, инерции* и *действия электрического поля*.

*Сила тяжести*, действующая на пылинку, составляет:

$$F_T = m \cdot g.$$

*Центробежная сила* возникает при создании условий искусственного вращения пылевоздушного потока и определяется по формуле

$$F_{ц} = m \cdot v_n^2 / R,$$

где  $m$  – масса частицы,  $kg$ ;  $v_n$  – скорость пылевоздушного потока,  $m/s$ ;  $R$  – радиус кривизны траектории потока,  $m$ .

Эта сила может быть во много раз больше силы тяжести и применяется в циклонах.

*Сила инерции* движущихся частиц используется в различных фильтрах при столкновении с их наполнителем (волокна, ткани, зерна, вода и т.д.). При этом осаждение пыли на поверхности может быть непосредственным, под действием диффузии броуновской (тепловое движение частиц), а так же турбулентности (при большой турбулизации потока), путем эффекта термопреципитации (осаждения нагретых частиц на более холодное тело), под взаимодействием электрического поля одноименно заряженных частиц.

Сила действия электрического поля на заряженную частицу составляет:

$$F_э = q_{пр} \cdot E_x,$$

где  $q_{пр}$  – предельный электрический заряд, Кл;  $E_x$  – напряженность электрического поля, В/м.

В пылеуловителях могут использоваться различные силы и механизмы одновременно.

По способу очистки **пылеуловители** подразделяются на три группы: *сухой, мокрый и электрический*.

Аппараты, применяемые при *сухом способе* очистки разделяются на гравитационно-инерционные и фильтрующие.

К гравитационно-инерционным аппаратам относятся осадительные камеры, инерционные аппараты и циклоны. К фильтрующим аппаратам – волокнистые, тканевые и зернистые фильтры.

Аппараты, применяемые при *мокром способе* очистки, разделяются на промывочные и жидкопленочные.

К промывочным относятся скрубберы или аппараты для промывки водой пылегазовых смесей с целью отделения компонентов газа или пыли, а также динамические газопромыватели.

К жидкопленочным – центробежные, ударно-инерционные и пенные аппараты.

*Электрические* пылеуловители – это группа электрофильтров, которые по расположению зон зарядки и осаждения разделяются на подгруппы на одноконные и двухзонные.

Пылеуловители могут быть и комбинированного действия.

Эффективность работы пылеуловителей характеризуется *степенью очистки*, которая показывает отношение в долях единицы или процентах массы уловленной пыли к массе пыли, содержащейся в воздухе до его очистки:

$$n = (k_r - k_{оч}) / k_r,$$

где  $k_r$  и  $k_{оч}$  – содержание пыли в воздухе соответственно до (грязного) и после очистки (очищенного), мг/м<sup>3</sup>.

При наличии нескольких ступеней очистки общая степень в долях единиц составит:

$$n_{oc} = 1 - (1 - n_1) \cdot (1 - n_2), \dots, (1 - n_n),$$

где  $n_1, n_2, \dots, n_n$  – степень очистки в первой, второй,  $n$ -й ступенях.

В условиях карьеров наиболее распространены **сухие пылеуловители**, в основном, *циклоны и рукавные фильтры*.

Принцип действия *циклона* следующий (рис. 1.2.2.1). Через расположенный в верхней части цилиндрического корпуса входной патрубков 1 запыленный воздух поступает в циклон по касательной к этой цилиндрической



части, закручивается и движется сверху вниз по кольцевому пространству между цилиндрическим корпусом и выхлопной трубой 5. Пылевые частицы центробежными силами отбрасываются к внутренней поверхности цилиндрической части циклона 6. После прохождения нижней конической части циклона 7, воздушный поток через пылевыпускное отверстие 8 выносит пыль в бункер циклона 9. При этом скорость потока резко падает и происходит выпадение пылевых частиц. В центральной части циклона возникает разрежение, благодаря которому очищенный воздух всасывается в выхлопную трубу 5. Из выхлопной трубы он поступает в раскручивающую улитку 2, где винтообразное движение потока преобразуется в прямолинейное. Из улитки, через выходной патрубок 3, очищенный воздух попадает в атмосферу. Пыль из бункера удаляется через пылевой затвор 10.

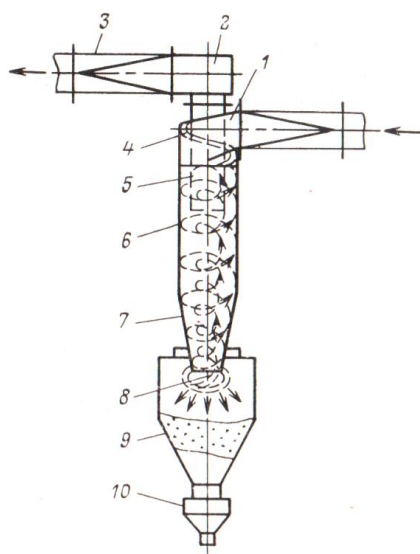


Рисунок 1.2.2.1. Принципиальная схема циклона: 1 – входной патрубок; 2 – раскручивающая улитка; 3 – выходной патрубок; 4 – крышка; 5 – выхлопная труба; 6 – цилиндрическая часть циклона; 7 – коническая часть циклона; 8 – пылевыпускное отверстие; 9 – бункер для пыли; 10 – пылевой затвор

Для увеличения производительности и повышения эффективности очистки воздуха от пыли применяются батарейные циклоны или мультициклоны, в которых циклонные элементы компонуются в батареи.

*Фильтры* включают в себя рукавные и с плоской разверткой матерчатые, кассетные, рамочные, рулонные и самоочищающиеся масляные фильтры и фильтры с насадками из зернистых материалов. Очистка воздуха от пыли в фильтрах осуществляется пропусканием его через пористые материалы (ткани, бумагу, волокна и т.д.). Фильтрующие элементы при этом необходимо периодически очищать от уловленной пыли.

По способу очистки (действия) фильтры подразделяются на фильтры непрерывного (самоочищающиеся) и прерывного действия. В последних пыль удаляется после прекращения поступления загрязненного воздуха.

Самоочищающийся фильтр показан на рисунке 1.2.2.2. Запыленный воздух 1 поступает в нижнюю часть рукавного фильтра, которая одновре-

менно служит бункером 8, где выпадают крупные частицы. Затем воздух поступает в отдельные рукава 2, насаженные на патрубки газораспределительной решетки. Верхняя часть рукавов через заглушки подвешена к раме, соединенной с механизмом встряхивания 6. При прохождении запыленного воздуха 1 через ткань пыль остается на внутренней стороне рукава 2, а очищенный воздух поступает в корпус фильтра и выводится через выходной патрубков 5.

Осевшая на ткани пыль удаляется встряхиванием рукавов механизмом 6 и одновременного пропускания через них обратного тока продувочного воздуха 4. Включение механизма встряхивания происходит автоматически по мере увеличения аэродинамического сопротивления в рукавах. Группа рукавов встряхивается попеременно: одна часть работает на очистку от пыли, другая в это время очищается встряхиванием. Осыпавшаяся при встряхивании рукавов пыль собирается в бункере и шнеком удаляется из него.

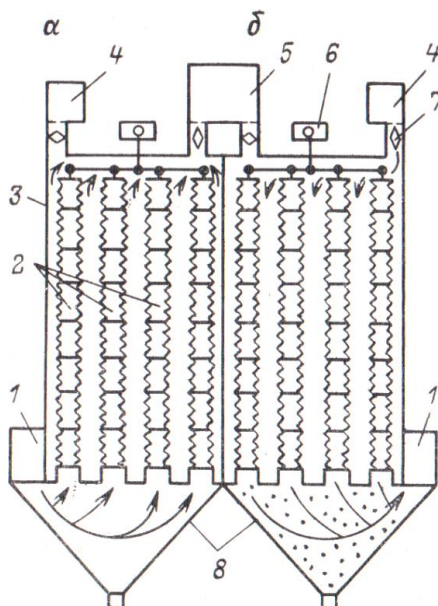


Рисунок 1.2.2.2. Схема рукавного самоочищающегося фильтра: *а* – режим очистки воздуха; *б* – режим регенерации ткани; 1 – воздухопроводы загрязненного воздуха; 2 – рукава; 3 – корпус; 4 – воздухопроводы продувочного воздуха; 5 – воздухопроводы чистого воздуха; 6 – механизм встряхивания; 7 – дроссель-клапан; 8 – бункеры

Для встряхивания может использоваться и пульсирующий сжатый воздух, производя, так называемое, аэродинамическое встряхивание.

Эффективность очистки запыленного воздуха рукавными фильтрами достигает 99,9 %.

### 1.2.3. Пылеподавление

Основным направлением очистки воздуха при пылеподавлении является связывание пыли непосредственно в местах ее образования. Для пылеподавления или пылесвязывания могут быть использованы вода, растворы, би-

тумы, соли, коллоиды, растительные покровы и др. Наибольшее распространение в практике работы карьеров получила вода благодаря ее дешевизне и хорошей смачиваемости с пылью.

В зависимости от **смачиваемости** породы разделяются на *гидрофобные* (плохо смачиваемые) и *гидрофильные* (хорошо смачиваемые). К гидрофильным породам относятся кварцы, сульфаты, силикаты, карбонаты и др. К гидрофобным – угли, графиты, сульфиды и пр.

Количество воды для смачивания пыли определяется дисперсностью частиц, объемом пыли, влагоемкостью и др. факторами. Расход воды для смачивания пыли снижается в 10 раз при применении специальных реагентов, поверхностно активных веществ (ПАВ).

Для хорошо смачивающихся поверхностей удельный расход воды  $q_{см}$ , кг/м<sup>2</sup>, составит

$$q_{см} = d_k \cdot \gamma_v \cdot w_{вм},$$

где  $d_k$  – диаметр капель, попадающих на поверхность и удерживаемых на ней, м;  $\gamma_v$  – плотность воды, кг/м<sup>3</sup>;  $w_{вм}$  – максимальная молекулярная влагоемкость, %.

При орошении поверхности гидрофобных частиц пыли они должны покрываться водяной пленкой для предотвращения сдувания.

Удельный расход воды, необходимый для плохо смачивающихся поверхностей составит

$$q_{см} = d_k \cdot \gamma_v,$$

где  $d_k$  – диаметр капель, падающих на поверхность и удерживаемых на ней, м.

#### 1.2.4. Нейтрализация вредных газов

Для нейтрализации вредных газов используются способы *сорбционной* (абсорбционная и адсорбционная), *каталитической*, *термической* газоочистки и их комбинация.

*Абсорбционная* газоочистка состоит в поглощении газов жидким поглотителем и его растворении. При этом различают физическую абсорбцию и хемабсорбцию.

При физической абсорбции происходит простое растворение газа без химической реакции, например, окислов азота и альдегидов.

Хемабсорбция характеризуется связыванием газа в жидкой фазе в химическое соединение. Например, двуокись азота связывается раствором едкого натрия, а окись углерода аммиачным раствором солей меди.

*Адсорбционная* газоочистка состоит в поглощении газов поверхностью твердых тел, называемых адсорбентами. Эти тела характеризуются высокой пористостью и большой удельной поверхностью: активированный уголь и силикагель. Поверхность 1 г активированного угля достигает 1000 м<sup>2</sup>, размер зерен 2-8 мм.

*Каталитическая* газоочистка состоит в том, что в присутствии небольшого количества некоторых веществ ускоренно происходят химические реакции, в результате которых образуются неопасные вещества. Катализаторы могут быть твердыми (металлы, их окислы, сульфиды, соли и др.) и пористыми, поскольку активность катализатора в значительной мере определяется площадью контакта (цеолиты, глинозем, окатыши и др.).

При *термическом* способе нейтрализации производится сжигание вредных соединений при температурах, превышающих температуру их вспышки, что осуществляется при достаточном количестве кислорода.

Комбинированная очистка применяется в случае одновременной очистки нескольких газов с различными свойствами.

### **1.2.5. Нормализация атмосферы путем изменения техники и технологии**

Улучшение состава атмосферы карьеров решается совместно с совершенствованием техники и технологии открытой разработки без повышения затрат на разработку, снижения производственной мощности и производительности труда.

Например, проведение взрывных работ в период наибольшей ветровой активности и осадков, а не в период инверсий, что резко снижает запыленность и загазованность карьерного воздуха; применение более совершенных двигателей внутреннего сгорания (топливные элементы, газотурбинные двигатели, катализаторы выхлопных газов и т.д.); применение твердого покрытия на дорогах и поливомоечных машин на карьерах с автомобильным транспортом.

Наиболее безопасной по пылевому и газовому факторам является гидромеханизация, но область ее применения ограничена.

Внедрение поточной технологии в карьерах позволяет снизить загазованность атмосферы автотранспортом, но увеличивает ее запыленность.

Эффективность естественного проветривания карьеров увеличивается при меньших углах наклона рабочих бортов, а атмосферные условия улучшаются при рациональном, с учетом розы ветров, расположении отвалов и техкомплекса карьера.

В настоящее время на карьерах все большее применение находит механическое разрушение пород взамен БВР: применение в ряде случаев мощных бульдозеров с навесными рыхлителями, различной конструкции карьерных фрезерных комбайнов и др.

### **1.2.6. Удаление вредных примесей из карьера**

Удаление вредных примесей из пространства карьера достигается созданием специальных *аспирационных систем, естественного проветривания и искусственной вентиляции.*

*Аспирационные* системы предусматривают отсос вредных веществ от мест их образования, а затем очистку и выброс чистого воздуха в атмосферу за пределы выработанного пространства.

*Естественное проветривание* осуществляется энергией ветра, термических сил и их совместного воздействия. В зависимости от воздействия человека действие этих сил может увеличиваться или ослабляться. Действие энергии ветра в ряде случаев усиливается. Так, например, при удалении отвалов от карьерной выемки, оставлении между отвалами незаполненного пространства для прохода воздушных потоков к верхней бровке карьера, придания рабочему борту карьера формы, соответствующей профилю отклонения воздушного потока и др.

*Искусственная вентиляция* осуществляется с применением различных вентиляционных установок, сооружений, которые удаляют вредные примеси из карьера. Она может осуществляться и совместно с естественным проветриванием и аспирационными системами.

### **1.2.7. Создание микроклимата на рабочих местах**

В кабинах горных и транспортных машин от действия ряда факторов создается микроклимат, отличный от окружающей атмосферы, особенно в отношении тепловых параметров. Недостаточная герметичность кабин в ряде случаев может приводить к проникновению в их замкнутое пространство газов и пыли.

Вместе с тем благодаря наличию кабины появляется возможность на современном уровне развития машиностроительных технологий создать благоприятный и стимулирующий высокопроизводительную работу микроклимат. Это достигается достаточной герметизацией кабин, оборудованием их устройствами зимнего обогрева, очистной вентиляции, летнего кондиционирования и очистки воздуха.

## **1.3. Снижение поступления пыли при буровзрывных работах**

### **1.3.1. Пылеподавление и пылеулавливание при бурении скважин**

Способы разрушения пород при бурении скважин на карьере делятся на две основные группы: *механическое* и *термическое*.

К станкам **механического** бурения, образующим при бурении значительное пылевыделение, относятся вращательные, шарошечные и ударно-вращательные (с погруженным пневмоударником).

Основными направлениями снижения пылевыделения при работе таких станков являются применение *мокрых* способов пылеподавления и использование установок *сухого* пылеулавливания.

При *мокрых* способах пылеподавления, вода подается в поток сжатого воздуха, направляемого в забой буровой скважины для удаления буровой ме-

лочи, образуя водно-воздушную смесь. Эта смесь в забойном пространстве сталкивается с пылевыми частицами. Происходит смачивание водой и коагуляция пыли. Образующийся шлам, выдвигается под давлением воздуха на поверхность и удаляется от устья скважины воздушным потоком, который создает специальный вентилятор, устанавливаемый в 1-1,5 м от устья скважины. Частицы, смоченные водой, выпадают из потока и оседают на поверхности уступа. Для повышения смачивающих свойств воды используются добавки ПАВ, которые снижают поверхностное натяжение воды и улучшают диспергирование буровой пыли. Применяются также антикоррозийные, эмульсионные и гидрофильные добавки.

Такая схема пылеподавления показывает высокую эффективность и используется, например, на станках типа СБШ-250МНА-32 (МНА-55).

Недостатками являются: снижение стойкости долот; ограничение применения воды, несмотря на ее предварительный подогрев, в зимнее время, особенно в сильные морозы; возможность разрушения устья и обрушение всей скважины по окончании бурения.

С целью пылеулавливания при *сухом* способе пылеподавления применяются различные одно-, двух-, трех- и четырехступенчатые пылеулавливающие установки, состоящие из узла отсоса запыленного воздуха от устья скважины из частичного укрытия, пылеулавливающих аппаратов, вентилятора и системы воздухопроводов. По принципу улавливания последней ступени очистки они подразделяются на установки с гравитационными, инерционными, поглощающими и пористыми пылеуловителями.

Например, на буровых станках типа 2 (3, 4, 5, 6) СБШ-200Н применяется трехступенчатая пылеулавливающая установка. Буровой шлам через пылеприемник поступает в осадительную камеру, где оседают крупные частицы. Затем воздух проходит через парный циклон и рукавный тканевый фильтр. Эта установка дает возможность в 10 раз снизить запыленность воздуха на рабочей площадке и в кабине бурового станка. Эффективность очистки воздуха современными установками достигает 99,5 %.

При термическом бурении скважин в забое кварцитов образуется сложная смесь газообразных продуктов сгорания топлива и частиц разрушенной породы. Применяемая для охлаждения горелки вода интенсивно образует пар в этой смеси, что позволяет в десятки раз снизить интенсивность выбросов пыли и снизить температуру газов на выходе из скважины с 560 до 99°С и менее.

Пылеулавливающие аппараты монтируются на станке и включают укрытие-бункер, откуда через уголкового фильтра (три решетки, устанавливаемые под углом 30° к набегающему потоку пылегазовой смеси) по пылегазопроводу смесь попадает в пенный аппарат, который имеет каплеуловитель из двух уголкового решеток.

### 1.3.2. Снижение пылевыведения при производстве взрывных работ

Массовые взрывы на карьерах являются источниками большого выделения пыли и газов. Количество одновременно взрываемого ВВ при этом достигает на современных карьерах 1000 и более тонн.

При взрывании наблюдается два основных вида пылегазового облака: *первичное и вторичное*.

**Первичное облако** образуется в результате выноса пыли из устья скважины истекающими газообразными продуктами взрыва. В это облако попадают измельченная порода стенок и устья скважины, а также буровой шлам забойки. Поднятая взрывом горная масса при падении на почву уступа, воздействие ударной волны и сейсмических колебаний образуют **вторичное облако**.

Пылегазовое облако взрыва за минуту достигает высоты 200-250 м. При этом температуры газов в облаке и окружающей воздушной среде выравниваются, а облако начинает перемещаться ветром и происходит интенсивное выпадение крупных пылевых фракций. Мелкие фракции выпадают на расстоянии 2-3 км и более. Удельное количество пыли ( $1 \text{ кг/м}^3$  породы) зависит главным образом от удельного расхода ВВ, с увеличением которого интенсивность выделения пыли резко возрастает.

Большое влияние на пылевыведение оказывает обводненность взрывааемых пород. Взрывание скважин в обводненных породах приводит к снижению выделяющейся пыли в 1,5-2,5 раза по сравнению в сухих породах.

Способы борьбы с пылью с использованием воды применяют до взрыва, в процессе и после него. Для этого используют предварительное увлажнение массива, водяную забойку, водонаполненные ВВ и др.

Предварительное орошение водой поверхностей, прилегающих непосредственно к взрываемому блоку, способствует снижению взметывания при взрыве осевшей ранее пыли. Расход воды при этом составляет около 10 л на  $1 \text{ м}^2$  поверхности.

Водяная забойка может быть внешней, внутренней и комбинированной. Внешняя забойка располагается вблизи устья скважин, например, полиэтиленовый рукав, укладываемый вдоль рядов скважин и заполняемый слоем воды, высотой около 0,2 м.

Внутренняя водяная забойка осуществляется с помощью полиэтиленового рукава, опускаемого в скважину и заполняемого водой. Она располагается непосредственно над зарядом ВВ.

Комбинированная забойка включает оба перечисленных вида забойки.

Значительное снижение запыленности воздуха достигается также нанесением на взрываемый блок пены, применением воздушно-водяных струй на установках искусственного проветривания и др. способами.

## 1.4. Борьба с пылью при выемочно-погрузочных работах

### 1.4.1. При работе одноковшовых экскаваторов

Снижение запыленности воздуха при работе одноковшовых экскаваторов осуществляется выносом пыли из забоя с применением искусственной вентиляции, ее осаждением за счет коагуляции и утяжеления, а также увлажнения, комбинацией этих способов.

Искусственная вентиляция может осуществляться передвижными искусственными установками. Основным направлением при коагуляции и утяжелении пыли является применение *водовоздушных или паровоздушных струй*, направляемых вентиляторными установками в забой экскаватора.

Наиболее распространенными способами снижения интенсивности пылевыведения являются различные способы увлажнения горной массы гидромониторными установками, поливочными машинами и т.д.

Вместимость сосудов для воды должна выбираться из условия минимальных затрат на подвозку воды и увлажнение с учетом организации работ. На карьерах с автомобильным транспортом, а их в настоящее время большинство, вместимость поливочных машин должна соответствовать средней грузоподъемности основного технологического транспорта.

### 1.4.2. При работе роторных экскаваторов

Для борьбы с пылью при работе этих экскаваторов применяются те же способы, что и при работе одноковшовых экскаваторов, а также специальные способы *нагнетания воды* в массив пород до их выемки. Для этого бурятся скважины с сеткой примерно 5×10 м, в которые нагнетается дренажная вода под давлением 0,5-2,5 МПа. Удельный расход воды составляет 25 кг/м<sup>3</sup>, а запыленность воздуха в процессе выемки снижается до 80 %. Кроме того ряд источников пылевыведения на этих экскаваторах позволяет использовать аспирацию с последующим пылеулавливанием в различных пылеуловителях.

Наибольшая интенсивность пылеподавления достигается комплексным обеспыливанием. Оно включает сочетание предварительного увлажнения массива гравитационным методом через предварительно сделанные рыхлителем специальные борозды в кровле уступа и последующее орошение горной массы диспергированной водой через специальный ороситель. Ороситель устанавливается на конце стрелы экскаватора и подающий распыленную воду на срезаемую ротором стружку породы. Для повышения эффективности комплексного обеспыливания могут применяться добавки в воду химических веществ.

Аспирация и пылеулавливание используются в местах перегрузок горной массы, на пути ее движения от роторного колеса до места разгрузки на забойный конвейер или в транспортные сосуды.



## **1.5. Снижение пылевыведения при транспортировании**

### **1.5.1. Борьба с пылью на автодорогах**

На карьерах применяются различные способы транспортирования горной массы. Наибольшее распространение получили автомобильный, железнодорожный, конвейерный и гидравлический виды транспорта.

Наиболее интенсивное пылевыведение происходит при движении автосамосвалов по карьерным дорогам. Для борьбы с этим явлением используются: усовершенствование покрытий дорог, увлажнение их поверхности, обработка различными вяжущими растворами и др.

Снижение интенсивности пылевыведения прямо связано с совершенствованием покрытия автодорог, но это затруднено на полустационарных и, особенно, временных дорогах. В связи с этим на карьерах широко применяется увлажнение их поверхности с помощью поливочных машин различных конструкций:

1. Бак, центробежный насос, работающий от вала отбора мощности двигателя, система трубопроводов, насадки в передней части машины на специальных шарнирах, позволяющие устанавливать их в положения мойки или поливки дорог. Поддачи воды под напором осуществляется перед машиной, а ширина полосы полива регулируется шарнирными насадками.

2. Бак, труба с отверстиями, расположенная в задней части машины, из которой вода выливается самотеком полосой, равной ширине машины.

Поливка автодорог может осуществляться и с помощью форсунок т стационарных или полустационарных (легкосборных) водоводов, расположенных вдоль дороги.

На карьерах применяется также обработка автодорог различными вяжущими растворами, связывающими пылевые частицы и продукты износа колес в подобие защитного коврика. При этом используются различные вещества: сульфитно-спиртовая барда или бражка (ССБ); различные нефтепродукты, например, отработанные масла; хлористый кальций; специально разработанный на основе нефти препарат «Универсин» и др. Продолжительность обеспыливания дорог при этом увеличивается в 10-20 и более раз по сравнению с водой.

В зимнее время для обеспыливания используются снежные покрытия.

### **1.5.2. При железнодорожном транспорте**

При железнодорожном транспорте источниками пылеобразования являются свободные поверхности транспортируемой горной массы, а также пыль, лежащая на верхнем и нижнем строении пути, которая поднимается в воздух при движении состава.

Для борьбы с пылеобразованием применяются технологические приемы, поверхностное увлажнение и закрепление поверхностного слоя перемещаемого материала.

К технологическим приемам относится, например, селективная укладка горной массы, с учетом ее крупности. Мелкие фракции горной массы укладываются в нижней части думпкаров, а более крупные – в верхней части.

Поверхностное увлажнение перемещаемого материала осуществляется с помощью форсунок в местах примыканий передвижных и постоянных рельсовых путей.

Закрепление поверхностного слоя перевозимого насыпного груза осуществляется при его транспортировании на значительные расстояния. Закрепление поверхностного слоя осуществляется с помощью тех же веществ, что и при обеспыливании дорог на автотранспорте.

### **1.5.3. При конвейерном транспорте**

В этом случае пылевыделение происходит в результате сдувания пыли с поверхности транспортируемого материала, перегрузки с одного конвейерного става на другой и образования пыли на холостой ветви конвейера из-за налипания материала на ленту.

Во избежание сдувания пыли с поверхности транспортируемого материала, а также при перегрузках применяются различные укрытия.

Сокращение пылевыделения с холостой ветви ленты достигается ее очисткой и перевертыванием на  $180^\circ$ . Для очистки конвейерной ленты и барабанов от налипших частиц используются различные устройства: скребковые, щеточные, вибрационные, пневматические, гидравлические и др.

Перевертывание холостой ветви ленты на  $180^\circ$  происходит сразу после приводного барабана, а возвращение ее в исходное положение непосредственно перед натяжным барабаном. В результате холостая ветвь перемещается по нижним роликам чистой стороной, что значительно снижает интенсивность пылеобразования.

Увеличение длины конвейерных ставов при применении высокопрочных лент и промежуточных приводов уменьшает количество перегрузок и снижает пылеобразование.

Для борьбы с пылевыделением на загрузочных, перегрузочных и разгрузочных узлах используются аспирационные укрытия, гидрообеспыливание, пылеподавление пеной и др. способы.

Гидрообеспыливание достигается увлажнением материала или подавлением пылевого облака распыленной из форсунок водой.

Применение пены позволяет не только смачивать и коагулировать частицы пыли, но и изолировать источник пылевыделения от воздушного потока, который может унести пыль. Пена наносится на поверхность транспортируемого материала или смешивается с ним при перегрузке с одного конвейера на другой.

#### **1.5.4. Снижение запыленности при использовании комбинированного транспорта**

Применение комбинированного транспорта связано с созданием перегрузочных пунктов, т.е. дополнительных источников пылеобразования при перегрузке горной массы с одного вида транспорта на другой.

На перегрузочных узлах для борьбы с пылью используются следующие способы: аспирационные укрытия с пылеуловителями, увлажнение или покрытие пеной горной массы и др.

Увлажнение горной массы производится с помощью гидромониторов, а покрытие пеной с помощью оросителей с форсунками и т.д.

### **1.6. Снижение пылевыведения при применении циклично-поточной технологии**

#### **1.6.1. Общие сведения**

Эта технология предусматривает применение в карьере циклического вида транспорта, главным образом автомобильного, а на подъеме горной массы из карьера и транспортировании по поверхности – поточного, т.е. конвейерного транспорта. Схемы циклично-поточной технологии связаны с дроблением и грохочением горной массы. Это необходимо из-за различных требований к среднему размеру кусков в кузове автосамосвала и на конвейерной ленте.

#### **1.6.2. Борьба с пылью при работе самоходных дробильных агрегатов**

Способы борьбы с пылью при работе самоходных дробильных агрегатов связаны с их конструктивными особенностями: приемным бункером, колосниковым грохотом, дробилкой, пластинчатым и ленточным конвейерами. Основными источниками пылевыведения при работе этих агрегатов являются: место загрузки, узлы перегрузки, грохота и дробилки.

Для борьбы с пылью в этом случае используются пылеподавление, пылеулавливание и их сочетание.

Пылеподавление осуществляется гидрообеспыливанием с помощью системы, включающей бак с водой, насос и несколько форсунок, располагаемых у приемного бункера агрегата. Для пылеподавления применяется также и пена, создаваемая пеногенератором и подаваемая в приемный бункер.

При пылеулавливании пылящие узлы отделяются от внешней среды укрытиями, конструкция которых зависит от источников пылевыведения. Очистка аспирируемого воздуха осуществляется в пылеуловителях, состоящих из циклонов и рукавных фильтров, и достигает 99,92 %, а пылевыведение снижается более чем в 30 раз.

### **1.6.3. Предотвращение пылевыделения на полустационарных перегрузочных узлах**

Основное пылеобразование в этом случае происходит при разгрузке автосамосвалов или думпкаров на грохоты или приемные бункеры дробилок, при дроблении и грохочении материала, а также при подаче на конвейеры.

Наиболее универсальным способом борьбы с пылью здесь является пылеулавливание, предусматривающее аспирацию запыленного воздуха от укрытий источников пылевыделения и последующая его очистка в пылеуловителях. Очистка воздуха осуществляется с помощью мультициклонов и рукавных фильтров.

В ряде случаев используется также пылеподавление. Пылеподавление производится с помощью водовоздушных завес, создаваемых щелевыми насадками для воздуха и форсунками для воды.

## **1.7. Снижение поступления вредных газов в атмосферу карьеров**

### **1.7.1. Снижение газовыделения при бурении скважин**

Газовыделение в атмосферу вредных газов на современных карьерах происходит при бурении скважин станками термического бурения. В перспективе возможно также применение других способов бурения скважин, в том числе взрывного, плазменного, лазерного и др., что также может вызвать дополнительное поступление в атмосферу карьеров вредных газов.

При термическом бурении для снижения интенсивности газовыделения используется комплекс мероприятий, включающий подбор расхода компонентов горючей смеси, способов сжигания, разжижение вредных газов и применение для них различных нейтрализаторов и т.д.

Так, снижение окиси углерода, азота, альдегидов происходит при избытке окислителя и особенно интенсивно при коэффициенте его избытка более 1,3.

Снижение массовой доли вредных газов достигается более тонким распылением горючего путем совершенствования форсунок, применением дезинтеграторов (измельчителей) топлива для интенсификации его сгорания, например, ультразвука, магнитометров, а также подогрева топлива и оптимизацией параметров камеры сгорания.

Нейтрализация вредных газов осуществляется подачей в зону сгорания, например, эмульсии из топлива и очищенной или обессоленной воды (в объеме до 20 %), а также установкой после последней ступени очистки нейтрализующих аппаратов.

### **1.7.2. Снижение загазованности при взрывных работах**

Образование вредных газов при взрывах связано с взрывным разложением ВВ и в особенно больших количествах при взрывании ВВ с отрицательным кислородным балансом.

Для снижения загазованности воздуха при массовых взрывах применяют комплекс мероприятий, в который входит применение ВВ с нулевым или близким к нему кислородным балансом, использование различных технологических возможностей, интенсификация проветривания карьера и т.д.

Перспективным направлением является использование нейтрализующих добавок как в ВВ, так и при забойке скважин. Например, гидрогелевая забойка, состоящая из воды, силиката натрия и аммиачной селитры уменьшает выделение окиси углерода до 46 %, а окислов азота более чем на 86 %.

К технологическим возможностям относятся применение высоких уступов и взрывание в зажатой среде на неубранный навал породы, шириной 25-40 м, что объясняется более полным использованием энергии взрыва.

Снижение количества образующихся при взрывании ядовитых газов достигается также снижением удельного расхода ВВ путем совершенствования технологии взрывных работ с учетом конкретных условий взрывания.

Интенсификация проветривания достигается как естественными, так и искусственными способами.

При естественном проветривании правильно устанавливается время взрывания скважин на основании анализа суточного хода ветра. Ядовитые газы в данном случае рассеиваются наиболее быстро при максимальной скорости ветра. При искусственном способе вентиляции применяются установки со свободными вентиляционными струями.

### **1.7.3. Нейтрализация вредных газов при работе двигателей внутреннего сгорания (ДВС)**

Двигатели внутреннего сгорания, устанавливаемые на карьерных машинах в основном дизельные. При их работе наибольшую опасность для атмосферы карьера представляют окись углерода, окислы азота и альдегиды. Снижение токсичности вредных газов решается по двум направлениям: *совершенствование двигателей* и *снижение токсичности* отработавших газов.

Так, применение газотурбинных двигателей вместо дизельных снижает токсичность отработанных газов более чем в 10 раз.

Загазованность при работе существующих двигателей регулируется правильным выбором режимов эксплуатации, регулировок, поддержанием технического состояния двигателей, применением присадок к топливу и нейтрализаторов выхлопных газов.

Применение присадок из смеси спиртов *для карбюраторных* двигателей позволяет снизить токсичность компонентов отработанных газов. Следует отметить, что выбросы ядовитых компонентов при работе дизельных дви-

гателей как минимум в 2 раза меньше, чем при работе карбюраторных, которые используются на различных вспомогательных машинах.

Для *дизельных* двигателей применяются присадки, снижающие дымность отработанных газов, т.е. выхода сажи, носителя 3,4-бензопирена. Значительное снижение токсичности отработанных газов достигается применением топливно-водяных эмульсий. Такая эмульсия, содержащая 15-20 % дистиллированной или обессоленной воды, в дизельном двигателе позволяет снизить содержание сажи на 80-85 %, окиси углерода на 47-50 %, окислов азота на 30-35 % и альдегидов на 55-60 %.

Эффективным средством снижения токсичности отработанных газов являются нейтрализаторы: жидкостные, каталитические, термокatalитические и др.

Наиболее эффективным химическим реагентом *жидкостных нейтрализаторов* является 10 % водный раствор сульфита натрия ( $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ) и двууглекислой соды ( $\text{NaHCO}_3$ ). В этих нейтрализаторах одна часть вредных веществ выпадает в осадок, а другая связывается химически. Ими улавливается от 50 до 100 % вредных газов. Недостатком этого способа нейтрализации является громоздкость конструкции аппарата, нечувствительность к нейтрализации окиси углерода и сложность эксплуатации при отрицательных температурах.

При *каталитической нейтрализации* токсичные компоненты отработанных газов взаимодействуют между собой или с избыточным кислородом и переходят в нетоксичные вещества (двуокись углерода и воду). Например, каталитический нейтрализатор НКД-241 для дизельных двигателей состоит из корпуса и реактора (двух металлических сеток в виде труб разного диаметра). В реактор засыпается алюмоплатиновый катализатор. Одним из недостатков каталитических нейтрализаторов является небольшая их эффективность при температуре менее  $250^\circ\text{C}$ . Он устраняется поддержанием необходимой температуры ( $350-550^\circ\text{C}$ ) с помощью специальных подогревателей (термокatalитический нейтрализатор), т.е. в период пуска и прогрева двигателя, а также работы его на холостом ходу. Существенным недостатком таких нейтрализаторов является их инертность к окислам азота.

В связи с этим перспективными могут оказаться комбинированные методы очистки отработанных газов с применением каталитических, сажеулавливающих, адсорбирующих и других аппаратов, а также способов поддержания работы двигателей с наименьшей токсичностью отработанных газов.

#### **1.7.4. Борьба с пожарами на карьерах**

Пожары на карьерах могут быть *эндогенного* и *экзогенного* происхождения. *Эндогенные пожары* возникают от окисления и самовозгорания углей и других полезных ископаемых. *Экзогенные* возникают от внешних тепловых источников: искры тока короткого замыкания, сварочных работ и пр.

*Эндогенные пожары (самовозгорания)* возможны как в массиве полезного ископаемого, так и в его разрыхленном состоянии (в отвалах, на складах и т.д.). Самовозгоранию предшествует низкотемпературное окисление при достаточном притоке воздуха для окисления, но недостаточном оттоке образующегося при этом тепла. В этот период происходит самонагревание полезного ископаемого.

На самовозгорание влияют *внутренние* и *внешние* факторы. К *внутренним* факторам относятся: химический состав, степень метаморфизма и выветривания, пористость, влажность, соотношение петрографических разностей, измельчение, крупность полезного ископаемого, температура и время отделения от массива. Например, бурые угли возгораются чаще каменных, а мелкие фракции углей окисляются быстрее крупных. Высокая пористость способствует окислению и т.д.

К *внешним* факторам относятся: горно-геологические (мощность пластов, их тектоника), горнотехнические (вскрытие, порядок и система разработки), климатические. Так, более мощные пласты имеют повышенную пожароопасность, что связано с небольшими темпами их отработки. В местах тектонических нарушений происходит скопление угольной мелочи, способствующей самовозгоранию. Горнотехнические факторы должны обеспечивать непрерывную отработку вскрытых пластов угля, в том числе и на участках временной консервации горных работ, хотя и медленными темпами. Самовозрастание угольных пластов возрастает в теплое время года.

Основными газами, которые выделяются в атмосферу карьеров при пожарах, являются окись и двуокись углерода, и сернистый газ.

**Способы борьбы** с вредными газами, выделяющимися при пожарах, объединяются в две группы: *предупреждения* и *ликвидации*.

К способам **предупреждения** относятся *технологические* способы борьбы с возможными очагами пожаров и *специальные мероприятия* по их предотвращению.

К технологическим способам борьбы с пожарами относятся:

- применение пожаробезопасных систем разработки;
- взрывание скважин в угольных пластах до момента развития в них интенсивных окислительных процессов;
- избегание вскрытия пожарных участков до полной ликвидации или изоляции очагов горения;
- полное извлечение склонных к самовозгоранию углей и вмещающих пород;
- отработка вскрытого полезного ископаемого до момента опасного накопления тепла в нарушенном массиве и др.

Специальными мероприятиями предусматривается: применение предварительного увлажнения пластов при принудительном нагнетании воды, растворов или глинистой пульпы по скважинам; присыпание пожароопасных участков инертной породой; снижение химической активности угля растворами и др.

Способы **ликвидации** возникших пожаров заключаются в тушении их водой или углекислотой, жидким азотом, а также заиливанием или присыпкой инертной породой горящих участков, отгрузкой загоревшихся материалов, покрытием очага пожара стойкими пенами и др.

Для тушения эндогенных пожаров в породугольных отвалах или навалах эффективно заиливание их глинистой пульпой с добавкой 2,5-5 % хлористого кальция, а также нагнетание воды в них через шпурсы или скважины.

В зависимости от природных условий разрабатываемых месторождений должен применяться комплекс мероприятий по предупреждению возникновения пожаров и их ликвидации.

### **1.7.5. Предотвращение газовыделения из грунтовых вод и пород**

Выделения вредных газов из грунтовых вод и горных пород происходят при разработке различных полезных ископаемых: угля, нефти, серы, озокерита, известняков, доломита, урановых и ториевых руд. При этом могут выделяться такие вредные газы, как сероводород, метан, углекислый газ, радон, углеводороды и др., иногда до концентраций, значительно превышающих ПДК.

В этом случае, прежде всего, предусматриваются мероприятия, направленные на *снижение интенсивности* их выделения.

Так, при осушении карьера необходимо применять такие способы удаления грунтовых вод, которые бы полностью устраняли фильтрацию воды через откосы уступов. Для этого проводятся нагорные канавы, бурятся водопонижающие скважины за пределами конечного контура карьера по поверхности. При обильном водопитоке иногда применяют экран из замороженных пород, который создается с помощью скважин, в которые нагнетается жидкий азот.

Из газов, находящихся в горных породах, особенно на угольных месторождениях, наиболее распространенным и опасным является метан. Но этот газ гораздо легче воздуха и легко выносится из выработанного пространства карьеров и практически не влияет на состав их атмосферы. Из грунтовых вод может выделяться сероводород, который может быть, нейтрализован водными щелочными растворами при предварительном увлажнении угля.

Большую опасность представляют более тяжелые углеводороды, выделяющиеся из горных пород при разработке нефтепродуктов. При этом кроме метана, выделяются бутан, пропан, этан и др. более тяжелые углеводороды, иногда до 60 % их общего объема, причем в концентрациях, превышающих ПДК иногда в 5-10 раз.

Количество газов, содержащихся в полезных ископаемых и породах и выделяющихся в атмосферу карьера, зависит от их содержания в горной массе, ее свойств, температурных условий, степени дробления и т.д.

Снижение интенсивности выделения газов из пород достигается осуществлением технологических и специальных мероприятий.



К технологическим мероприятиям относятся: правильный выбор параметров БВР для поддержания оптимальной с точки зрения газовыделения и выемки крупности кусков отбиваемых пород; интенсивная уборка отбитых пород. Например, увеличения крупности взрываемого полезного ископаемого позволяет снизить газовыделение из него в 3-4 раза, а интенсификация погрузочных и транспортных работ в 1,5-2 раза снижает выделение в атмосферу карьера углеводородов.

## **1.8. Предотвращение поступления вредностей от внешних источников в карьер**

### **1.8.1. Взаимодействие атмосферы карьера и прилегающих районов**

Атмосфера выработанного пространства карьеров непосредственно взаимосвязана с атмосферой прилегающих районов и эта связь проявляется:

1. В увеличении запыленности и загазованности воздуха в окружающих районах при ведении открытых горных работ.
2. В загрязнении атмосферы карьеров от внешних источников (отвалов, ОФ, ТЭЦ, котельных, заводов и т.д.).

На запыленность и загазованность воздуха, поступающего из карьера, основное влияние оказывает интенсивность пыле- и газообразования внутренних источников: массовые взрывы, работа бурстанков, экскаваторов, автосамосвалов, бульдозеров, а также действие температуры и ветра на поверхности карьера.

Основные мероприятия, направленные на снижение запыленности и загазованности воздуха внутри карьера связаны с улавливанием и подавлением пыли, нейтрализацией газов непосредственно в местах их образования.

Применяемые в практике открытых горных работ мероприятия по снижению запыленности и загазованности воздуха внутри карьера, позволяют также решать задачу уменьшения вредного влияния открытых горных работ на окружающую среду прилегающих к горным работам районам. При выборе средств борьбы с пылью и вредными газами в карьерах, предпочтение отдают тем, которые предусматривают улавливание и подавление пыли, а также нейтрализацию вредных газов непосредственно в местах их образования.

Уменьшение загрязнения атмосферы карьеров от внешних источников решается в процессе проектирования карьеров путем оптимизации размещения объектов на генеральном плане и технологическом комплексе карьера с учетом розы ветров.

### **1.8.2. Снижение интенсивности выделения вредностей от внешних источников**

Влияние внешних источников выделения вредностей на атмосферу карьеров зависит в общем случае от их интенсивности, расположения по отно-

шению господствующего направления ветра, расстояния до карьера, эффективности подавления вредностей, их улавливания и др. факторов.

При этом решаются такие задачи, как определение допустимого расстояния от внешнего источника до карьера при известной интенсивности образования вредностей или, наоборот, обоснование необходимой эффективности средств борьбы с вредностями при существующем расположении объектов и известной интенсивности их выделений.

Допустимое расположение объекта выделения вредностей по отношению к карьере определяется с учетом розы ветров. Роза ветров это график, на котором показывается распределение повторяемости различных направлений ветра, величины его скорости в данной местности по основным румбам (С, С-В, В, Ю-В, Ю, Ю-З, З и С-З) в процентах от общего числа метеорологических наблюдений.

Для очистки выбросов отдельных промышленных объектов наиболее широкое распространение получили различной конструкции и принципа действия циклоны и фильтры.

Загрязнение атмосферы карьеров от внешних источников, представляющих собой поверхности, лишенные растительности (отвалы пород, склады полезного ископаемого, дороги и др.) связано главным образом с их эрозией, в ряде случаев весьма существенно и может достигать 70 % от всех источников пылевыведения и загрязнения атмосферы в карьере.

Для предотвращения эрозионных процессов открытых поверхностей применяются методы их *увлажнения, химического закрепления, биологической обработки*, а также их *комбинация*.

При **увлажнении** необходимо, чтобы влажность верхнего слоя всегда была бы более 6 % (при скорости ветра до 10 м/с), что связано с большими капитальными вложениями и эксплуатационными расходами. Поэтому этот метод применяется на ограниченных по площадям участках.

**Химические закрепители** грунтов (водные растворы полиакриламида, его комбинации с сульфитно-спиртовой бардой, битумная эмульсия и др.) хорошо себя зарекомендовали. Они наносятся поливочными машинами или автогудронаторами.

**Биологический способ**, т.е. создание насаждений, является наиболее перспективным. Этот способ позволяет не только предохранять открытые поверхности от эрозии, но и задерживают пыль, перемещаемую воздушными потоками в приземном слое атмосферы. Использование этого способа связано с применением комплекса работ нарушенных открытыми горными работами площадей по горнотехнической рекультивации.

**Биохимический или комбинированный способ** предотвращает выдувание пород из корневой системы растений, химические пленки снижают температуру и повышают влажность в верхнем слое, в котором располагается корневая система.

## 1.9. Создание благоприятных условий труда на рабочих местах

### 1.9.1. Тепловые условия в кабинах оборудования

Тепловые условия в кабинах горного и транспортного оборудования определяются в основном температурой и влажностью окружающей атмосферы.

В летний период температура воздуха в кабинах превышает температуру атмосферы, что связано с интенсивными теплопритоками.

В отношении теплопритоков выделяются следующие элементы ограждения кабин: остекления и стенки, нагреваемые благодаря солнечной радиации; стенки, передающие тепло от более нагретых кузовов, в которых работают электроустановки и ДВС, а также ограждения, находящиеся с затененной стороны. Теплоприток в кабину осуществляется также и от обслуживающего персонала.

По характеру работы в отношении теплопритоков оборудование в карьерах можно разделить на следующие группы: *поворотное, полустационарное и комбинированное*.

**Поворотное оборудование** характеризуется тем, что в короткие промежутки времени происходит последовательный обогрев солнцем большинства ограждений кабин, соприкасающихся с наружным воздухом. Это приводит к поддержанию более высоких температур внутри кабин (мехлопаты, драглайны и др. машины).

**Полустационарное оборудование** характеризуется продолжительным сохранением положения кабины (буровые станки, роторные экскаваторы и т.д.).

Для **комбинированного оборудования** (автосамосвалы, бульдозеры, грейдеры и т.д.) характерны условия инсоляции, как первой, так и второй групп.

Теплоприток в кабину в летнее время можно уменьшить теплоизоляцией и экранизацией нагреваемых солнцем поверхностей, а также заменой остекления. Например, экранизация стенок с установкой экрана из стали толщиной в 1мм на расстоянии 100 мм от облучаемой поверхности снижает теплоприток на 30 %. Снижение теплопритока на 20 % достигается окраской кабины в светлые тона. При установке двойных рам или специальных стекол теплоприток уменьшается на 25 %.

В зимний период, наоборот, происходят утечки тепла из кабины.

Для поддержания температуры воздуха в требуемых пределах в летнее время производится охлаждение и осушение подаваемого в кабину воздуха, а в зимнее его подогрев и осушение.

### 1.9.2. Охлаждение воздуха в системах кондиционирования

Охлаждение воздуха в кондиционерах кабин карьерного оборудования осуществляется с применением *фреоновых* или *парокомпрессорных* устано-

вок, *воздушных холодильных машин с турбодетандером или с вихревой трубкой, термоэлектрических батарей и испарительных холодильных установок.*

Во **фреоновых** установках применяется хладагент фреон, который перемещается в системе по замкнутому циклу: компрессор – конденсатор (теплообменник) – испаритель – компрессор. В компрессоре газ фреон сжимается и при этом нагревается. В конденсаторе охлаждается до температуры, близкой к температуре окружающего воздуха, конденсируется и переходит в жидкое состояние. В испарителе он расширяется и поглощает при этом большое количество тепла от соприкасающегося с его поверхностью и направляемого в кабину воздуха.

В **воздушных холодильных** машинах в качестве хладагента используется обычный воздух, предварительно сжимаемый в компрессоре. Воздух поступает на турбокомпрессор, где сжимается и повышает свою температуру, затем подается в теплообменник, а из него в так называемый турбодетандер. В нем воздух расширяется, отдает энергию и резко снижает температуру. Охлажденный воздух подается в кабину машиниста или водителя автосамосвала.

В другом типе *воздушного кондиционера или в воздушном кондиционере с вихревой трубкой* используется эффект французского инженера Ранка. Через сопло перпендикулярно по касательной в металлическую трубку подается сжатый воздух. На выходе из сопла он расширяется в этой трубке и разделяется на два потока с различной температурой. Внутренняя часть потока имеет низкую температуру и направляется через регулирующую диафрагму в один конец трубки, а поток, расположенный около стенок за счет трения о них имеет высокую температуру и направляется в другой конец трубки. При температуре окружающей среды 20°C в вихревой трубке получают холодный воздух с температурой до минус 10-50°C, а горячий до 100-130°C.

*Термоэлектрические батареи* работают на основе эффекта Пельтье, сущность которого заключается в выделении или поглощении тепла на спае двух различных проводников в зависимости от направления электрического тока. Холодные спаи охлаждают воздух, подаваемый в кабину, горячие – обогревают.

*Испарительные холодильные* установки работают на основе адиабатического увлажнения воздуха при пропускании его через увлажненные камеры, фильтры и т.д. Эффективность и область применения этого способа зависят от относительной влажности охлаждаемого воздуха. При относительной влажности 20 % и температуре 37,8°C наружного воздуха, увлажнение его до 65 % снижает температуру на 12,8°C; при относительной влажности 70 % и той же температуре наружного воздуха с увлажнением его до 95 % можно снизить температуру только на 4,5°C.

### 1.9.3. Очистка воздуха кабин

Обязательным элементом кондиционера для карьерного оборудования является многоступенчатый пылеуловитель. В качестве отдельных ступеней применяются циклоны, мультициклоны, различные фильтры.

Кроме пыли в отдельных случаях воздух очищают и от газов с помощью в основном активированного древесного угля. Фильтр очистки газов принимается из расчета 1 кг на 20 м<sup>3</sup>/ч воздуха.

От окиси углерода воздух очищают в гопкалитовых фильтрах, состоящих из 60 % двуокиси марганца и 40 % окиси меди.

Для очистки воздуха от углекислого газа и сероводорода используется водный раствор этаноламинов.

### 1.9.4. Подогрев воздуха в системе кондиционирования

Для подогрева воздуха, подаваемого в кабины в зимнее время, используются электрокалориферы, автономные отопители, установки, использующие тепло систем охлаждения и отработанных газов ДВС, термоэлектрические и комбинированные подогреватели.

*Электрокалориферы* – это электрические нагревательные элементы, располагаемые в воздуховодах. Применяются на электрических экскаваторах-мехлопатах, бурстанках.

*Автономные отопители* используют пламенный подогрев при сжигании топлива, используемого для ДВС (Например, трактора К-700, 701, 702).

Наиболее экономичными являются *подогреватели, используемые тепловые отходы ДВС*. Через систему охлаждения современных дизельных двигателей выходит до 21 % тепла и с отработанными газами до 34 % тепла. Это тепло и используется для обогрева кабин.

При использовании *термоэлектрических кондиционеров*, выделяемое на горячих спаях тепло через теплообменник подается в кабину, и зимой подогревают подаваемый в кабину воздух. Эти кондиционеры позволяют охлаждать подаваемый в кабину воздух летом и подогревать его зимой.

### 1.9.5. Распределение воздуха в кабинах

Для распределения воздуха в кабинах используются воздухораспределительные устройства, которые регулируют скорость и направление потоков воздуха для изменения условий комфорта применительно к индивидуальным особенностям организма операторов карьерных машин.

Воздухораспределители образуют различные струи воздуха: компактные, неполные и полные веерные, плоские, настилающие и др.

Наибольшее распространение получили регулируемые решетки (жалюзи) и перфорированные панели.

Жалюзи подают воздух в любом направлении: вверх, в сторону, вниз. Это позволяет создавать веерные и компактные струи и изменять их дальность.

Панели с отверстиями, размером 2-10 мм, уменьшают скорость подаваемого воздуха и равномерно объемно стабилизируют температуру в кабине.

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Каким образом характеризуются климатические условия России в районах открытой разработки полезных ископаемых?

2. Из чего состоят атмосфера и основные элементы микроклимата карьера?

3. От чего происходят основные источники загрязнения атмосферы карьеров?

4. Что такое пылеулавливание и пылеподавление?

5. Какие существуют способы нормализации атмосферы карьеров?

6. Каким образом достигается снижение поступления пыли при производстве основных процессов открытых горных работ?

7. Какие известны способы снижения поступления вредных газов в атмосферу карьеров?

8. С помощью каких средств ведется борьба с пожарами и осуществляется предотвращение газовыделения из грунтовых вод и горных пород на карьерах?

9. В чем состоят способы предотвращения поступления вредностей от внешних источников в карьер?

10. Какие известны в настоящее время практические пути создания благоприятных условий труда на рабочих местах?

## 2. АЭРОМЕХАНИКА АТМОСФЕРЫ КАРЬЕРОВ

### 2.1. Законы естественного воздухообмена в карьерах

#### 2.1.1. Основные законы аэростатики

**Аэростатика – наука о равновесии газов.** Ее основными задачами для карьеров являются определение изменения давления воздуха с глубиной карьера и условий равновесия находящегося в воздухе тела. Давление воздуха в аэростатике называется *статическим*.

Основное уравнение аэростатики – это уравнение равновесия воздуха:

$$dp = p \cdot (Xdx + Ydy + Zdz),$$

где  $p$  – давление воздуха;  $\rho$  – плотность воздуха;  $X, Y, Z$  – проекции объемной силы, отнесенной к единице массы;  $x, y, z$  – координаты.

В неподвижном воздухе единственной объемной силой, которая действует на каждую частицу воздуха, является сила тяжести. Ось  $OZ$  направлена вертикально вниз, поэтому проекции объемной силы будут равны:  $X = Y = 0, Z = g$  (ускорению свободного падения), а приведенное выше уравнение примет вид:

$$dp = \rho \cdot g \cdot dz.$$

Статическое давление действует по нормали к поверхности. В любой точке атмосферы оно имеет одинаковую величину во всех направлениях. Изменение давления в точке вызывает такое же изменение давления в близкорасположенных областях атмосферы. В этом заключается **закон Паскаля**, который является *первым законом аэростатики* и из которого следует, что:

1. При отсутствии постоянных возмущений давления в атмосфере последняя стремится к такому состоянию, когда давление во всех точках с равными высотами будет одинаково.

2. Изменение атмосферного давления на поверхности на некоторую величину вызывает такое же его изменение во всем карьере.

3. Давление, действующее на обе стороны пластинки в данной точке пространства, одинаково и не зависит от ее ориентации.

*Вторым важным законом аэростатики является закон Архимеда*, согласно которому равнодействующая всех сил давления, приложенных к телу, направлена вверх и равна весу воздуха в объеме тела.

Величина равнодействующей силы равна

$$P = g \cdot \rho \cdot V,$$

где  $\rho$  – средняя плотность воздуха в объеме тела;  $V$  – объем тела.

Разность веса тела  $Q$  и равнодействующей силы  $P$  называется *выталкивающей силой*. При  $Q = P$  тело будет находиться в равновесии, при  $Q < P$  – подниматься, при  $Q > P$  – опускаться.

### 2.1.2. Основные законы аэродинамики

**Аэродинамика** – наука о движении газа. При движении газа в нем кроме статического появляется еще *динамическое давление*, которое появляется при встрече потоком на своем пути какого-либо тела. Динамическое давление также действует по нормали к поверхности тела. *Полное давление* в потоке равно сумме статического и динамического давлений.

Это давление характеризует энергию единицы объема воздуха. Статическое – потенциальную, динамическое – кинетическую.

Существует два режима движения воздуха: *ламинарный* и *турбулентный*.

*Ламинарное движение* возникает при малых скоростях движения воздуха: воздух движется параллельными слоями, перемешивание которых носит молекулярный характер.

При *турбулентном движении* воздуха отдельные его объемы движутся хаотично, что обеспечивает интенсивное перемешивание отдельных слоев потока и, в частности, быстрое рассеивание поступающих в поток вредных веществ. Для такого движения характерно наличие, как постоянной составляющей скорости воздуха, так и переменной (пульсирующей). Их отношение называется *интенсивностью турбулентности* и определяет степень турбулизации потока.

Основными законами аэродинамики являются *закон сохранения массы*, *закон сохранения энергии* и *закон сохранения количества движения*.

*Закон сохранения массы* гласит, что масса любого объема воздуха при его движении остается постоянной.

*Закон сохранения энергии* для движущегося воздуха состоит в том, что изменение энергии произвольного объема воздуха за некоторый промежуток времени при его движении равно сумме количества сообщенной ему тепловой энергии и работы приложенных к нему внешних сил за то же время.

Работа внешних сил представлена силами сопротивления, уменьшающими энергию потока или силами, увеличивающими энергию потока (подача от вентилятора).

*Закон количества движения* – второй закон Ньютона. Этот закон позволяет получить уравнение, связывающее основные характеристики потока и которое называется *уравнением движения*. С помощью этого уравнения можно получить полное ускорение частицы воздуха в любой точке, а также ускорение от сил давления и от сил вязкости воздуха. С помощью этого уравнения можно определить поле скоростей потока как функцию сил трения, объемных сил, давления и свойств воздуха.

**Типы воздушных потоков** подразделяются на: *ограниченные* (движущиеся вдоль твердых границ) и *свободные* или *свободные струи* (не имеют



твердых границ), распространяющиеся в воздушной среде. Свободные струи образуются при срыве ветрового потока с верхней бровки карьера и распространение в его пространстве, при искусственной вентиляции вентиляционными установками, выходе из трубопровода.

### 2.1.3. Свободные турбулентные струи

На рисунке 2.1.3.1а показана свободная турбулентная струя в карьере. Ветровой поток срывается в точке А пересечения борта и земной поверхности и расширяясь движется в карьерном пространстве в виде свободной струи ВАС. Поверхности ВА и АС являются границами струи. Ниже границы АС воздух считается неподвижным, а выше АВ движется со скоростью ветра.

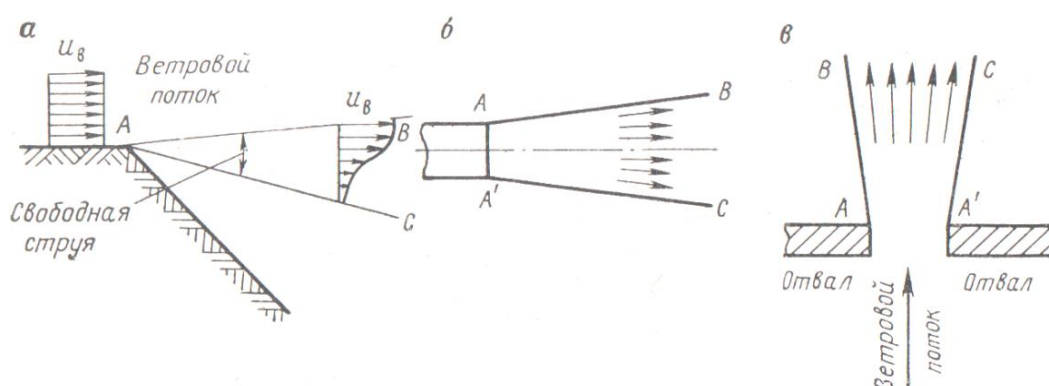


Рисунок 2.1.3.1. Свободные струи

На рисунке 2.1.3.1б показана свободная струя, ВАА'С при выходе воздушного потока из трубопровода, а на рис 2.1.3.1в при выходе потока между отвалами.

**Типы свободных струй:** *полные и неполные.* Полная струя не соприкасается с твердой границей. Неполная струя с одной стороны соприкасается с твердой границей (рис. 2.1.3.2а, участок СД).

Разновидностью неполной струи является полуограниченная струя. Одной стороной эта струя движется вдоль твердой границы по всей длине, например, струя, выходящая из трубопровода, проложенного по земле (на рисунке 2.1.3.2.б: **I, II, III** – поперечные сечения струи).

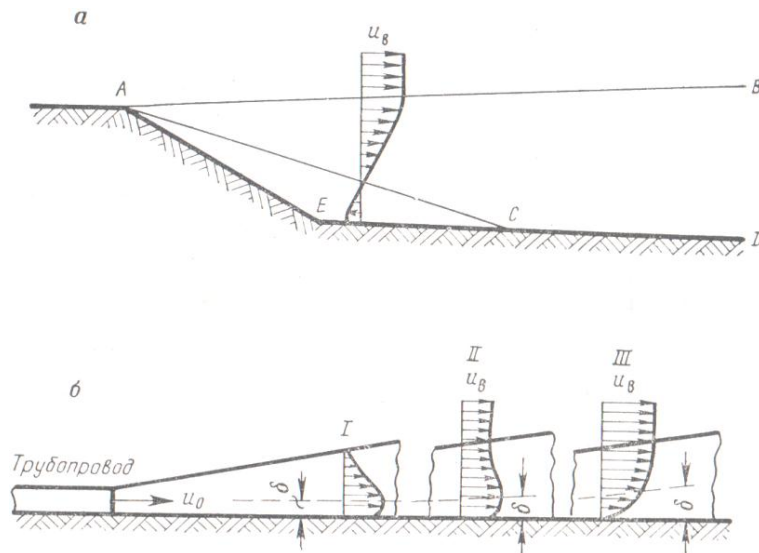


Рисунок 2.1.3.2. Схемы неполных свободных струй

В зависимости от формы выходного отверстия свободные струи могут иметь различную форму: круглую, ассиметричную (рис. 2.1.3.3а) и плоскую или плоскопараллельную (АС на рис.2.1.3.2 и рис. 2.1.3.3б) струю.

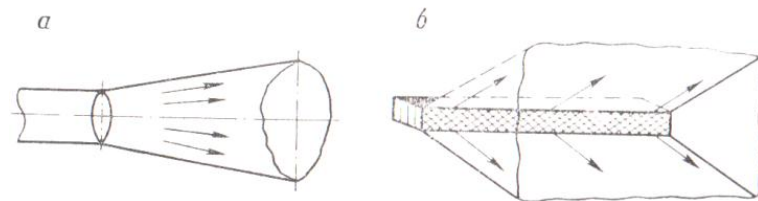


Рисунок 2.1.3.3. Схемы свободных струй

**Причины образования и основные элементы свободных струй.** Причинами образования свободных струй являются инерция движущегося воздуха и изменение направления твердых границ потока. При резком изменении твердых границ потока, поток воздуха под действием сил инерции преодолевает сцепление с твердой поверхностью, отрывается от нее и распространяется в воздухе в виде свободной струи.

Из-за трения об окружающие слои воздуха в струе происходит изменение скоростей:

- на границе струи скорость равна скорости окружающего воздуха;
- в струе она увеличивается или уменьшается.

Если струя распространяется в неподвижном воздухе (*затопленная струя*), то продольная составляющая скорости на ее границе равна нулю, а на оси имеет максимальное значение. На рисунке 2.1.3.4 показано изменение скоростей в затопленной струе.

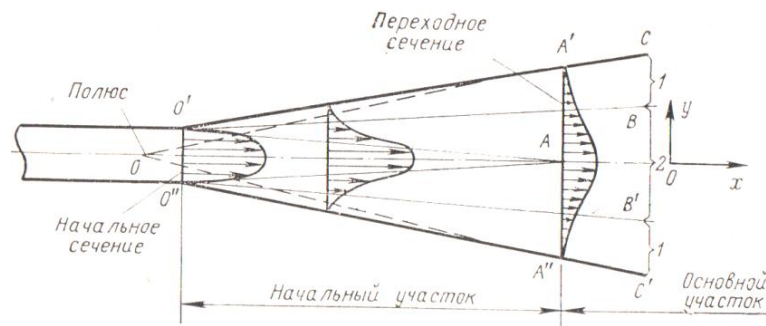


Рисунок 2.1.3.4. Схема затопленной струи: 1 – присоединенные массы; 2 – ядро постоянной массы

В месте срыва струи с твердой границы (*начальный участок*) образуется пограничный слой из увлеченных частиц внешней среды и заторможенных частиц струи. Пограничный слой расширяется вдоль по сечению струи. Полное развитие пограничного слоя и формирование основного профиля скоростей свободной струи (*переходное сечение струи*) происходит на *начальном участке*.

*Основной участок* струи состоит из сплошного пограничного слоя, а профили продольной скорости на нем подобны переходному сечению.

Точка 0 (рис. 2.1.3.4) пересечения границ основного участка струи называется *полусом струи*. Масса струи увеличивается по мере удаления от начального сечения из-за увлечения струей частиц окружающего воздуха. Поэтому в струе выделяется *ядро постоянной массы*, в котором масса движущегося воздуха равна массе воздуха в начальном сечении – зона **ВО'О''В'**. Вне ядра постоянной массы находятся *зоны присоединенных масс*.

Режим движения в струе может быть ламинарным и турбулентным. Практическое значение для проветривания карьера имеют только *турбулентные свободные струи*.

**Свободные струи в неограниченном пространстве.** Особенностью свободных струй является равенство статических давлений в струе давлению во внешней среде. Свободная струя представляет собою расширяющийся поток с продольной и поперечной составляющими скорости. Продольная составляющая скорости значительно превосходит поперечную составляющую, поэтому последней в расчетах пренебрегают.

Изменения скорости вдоль оси затопленной струи описываются выражениями:

- для круглой струи  $U_m = \text{const } U_0 \cdot r_0 / x^2$ ;
- для плоской струи  $U_m = \text{const } U_0 \cdot \sqrt{b_0} / \sqrt{x}$ ,

где  $U_0$  – скорость в начальном сечении струи;  $r_0$  – радиус начального сечения струи;  $x$  – расстояние от полюса струи;  $b_0$  – полутолщина начального сечения струи.

При прочих равных условиях скорость воздуха на одном и том же расстоянии от начального сечения у плоской струи больше, чем у круглой, т.е. дальность плоской струи больше.

*Турбулентность.* Интенсивность турбулентности в свободной струе равна нулю на ее внешних границах. Максимальная турбулентность на оси струи.

*Расширение струи.* Граница свободной струи – это поверхность, образующая которой в сечении представляет собой прямую линию.

Угол между осью струи и углом ее раскрытия  $\alpha$  для основного участка струи определяется из следующих выражений:

– для круглой струи  $\mathbf{tga = 3,4a}$ ;

– для плоской струи  $\mathbf{tga = 2,4a}$ ,

где  $\mathbf{a}$  – коэффициент структуры струи (для круглой структуры струи,  $\mathbf{a = 0,066-0,076}$ , для плоской,  $\mathbf{a = 0,09-0,12}$ ).

Чем больше коэффициент структуры струи, тем шире раскрывается струя и тем быстрее она затухает.

Наблюдения показывают, что углы раскрытия свободных струй, образуемых ветровыми потоками при их срыве с верхних бровок бортов карьеров, изменяются от 2 до 25° в зависимости от турбулизации атмосферы.

*Уравнение движения.* Движение воздуха на основном участке свободной струи описывается уравнениями движения пограничного слоя.

*Инженерные расчеты свободных струй.* При инженерных расчетах определяют угол раскрытия струи, среднюю скорость воздуха в сечении, количество воздуха, двигающегося в струе и др.

*Особые случаи воздушных струй.* В карьерах распространены струи в ограниченном пространстве. Особенностью движения таких струй является наличие потока воздуха в направлении обратном основному потоку. Такие струи называются *струями второго рода*. Особые струи возникают и при искусственной вентиляции карьеров. При взаимодействии с ветровыми и тепловыми потоками они изгибаются вверх или в сторону.

#### **2.1.4. Движение воздуха в трубах (ограниченные потоки)**

*Ограниченные воздушные потоки* – это потоки с твердыми границами. Например, в трубопроводах вентиляторных установок местного проветривания, в системах местного кондиционирования горного оборудования и т.д.

*Депрессия.* Трение воздушного потока о стенки трубопровода требует затрат энергии на его преодоление в процессе движения воздуха. Вследствие этого статическое давление, характеризующее энергию единицы объема воздуха, уменьшается в направлении его движения в ограниченных потоках.

Разность статических давлений в начале и конце ограниченного потока называется *депрессией* и, зная которую можно подобрать вентилятор для задания требуемой скорости движения воздуха в конце ограниченного потока.

*Скорости воздушных потоков.* В ограниченных потоках прилегающие к стенкам слои затормаживаются. Вследствие этого усредненная скорость потока воздуха на твердых границах потока равна нулю. По мере удаления от твердых границ скорость возрастает и достигает максимального значения

в средней части потока. Линия максимальных скоростей называется *аэродинамической осью потока*. Профили скоростей движения струи воздуха в турбулентном потоке имеют более тупую форму, чем в ламинарном потоке. Это объясняется возникновением в турбулентном потоке *пульсационной скорости*.

Пульсационная скорость равна нулю на стенках, достигает максимального значения вблизи стенок и уменьшается в направлении к аэродинамической оси потока.

*Аэродинамическое сопротивление*. Стенки воздухопровода и находящиеся в нем предметы оказывают сопротивление движению воздуха, которое называется *аэродинамическим сопротивлением*.

Различают три вида сопротивления: *трения, местное и лобовое*.

*Сопротивление трения* характеризует потерю энергии воздушного потока при его трении о стенки. Эта потеря энергии (депрессия) рассчитывается по формуле

$$h_t = \alpha \cdot P \cdot L \cdot Q^2 / S^3,$$

где  $\alpha$  – коэффициент трения (для различных трубопроводов изменяется в пределах от  $5 \cdot 10^{-3}$  до  $1,3 \cdot 10^{-3}$ );  $Q$  – расход воздуха в единицу времени;  $P$  – давление воздуха;  $L$  – длина воздухопровода;  $S$  – сечение воздухопровода.

Выражение,  $\alpha \cdot P \cdot L / S^3 = R_t$  называется *аэродинамическим сопротивлением трения*.

*Местные сопротивления* возникают при резком местном изменении формы потока (повороты, сужения и т.д.). Основной причиной их возникновения является образование вихревых (застойных) зон, поглощающих часть энергии потока.

Депрессия местных сопротивлений рассчитывается по формуле

$$h_m = e \cdot \rho \cdot Q^2 / 2S^2,$$

где  $e$  – коэффициент местного сопротивления;  $\rho$  – плотность воздуха.

Уменьшения местных сопротивлений достигают скруглением поворотов, плавным изменением сечения и т.п.

*Лобовые сопротивления* возникают при набегании потока на различные препятствия. Основной причиной их возникновения являются вихревые зоны за обтекаемыми телами.

Депрессия лобовых сопротивлений рассчитывается по формуле

$$h_l = c \cdot \rho \cdot S_m \cdot Q^2 / 2S(S - S_m)^2,$$

где  $c$  – коэффициент лобового сопротивления;  $S_m$  – *миделево сечение* тела, оказывающего лобовое сопротивление.

*Миделево сечение* тела – это плоскость его проекции на площадь, перпендикулярную к направлению движения воздуха.

Для уменьшения лобового сопротивления тела необходимо придать ему более обтекаемую форму.

*Общая депрессия воздухопровода* равна сумме депрессий трения, местных и лобовых сопротивлений:

$$h_o = h_t + h_m + h_l.$$

*Характеристика воздухопровода.* Расписывая депрессии сопротивлений, общую депрессию воздухопровода можно выразить в виде

$$h_o = R \cdot Q^2,$$

где **R** – суммарное аэродинамическое сопротивление воздухопровода.

Это аналитическое выражение и построенный на его основе график для конкретного воздухопровода являются характеристиками воздухопровода.

### 2.1.5. Движение воздуха в карьере

*Движение воздуха* в карьере вызывается *энергией ветра, термических сил, разностью статических давлений в карьере, факторами технологического характера.*

*Энергия ветра* – это кинетическая энергия движущихся масс воздуха. Она является основным естественным фактором, обеспечивающим естественное проветривание карьера. Но с увеличением глубины карьера ее значение в естественном проветривании уменьшается. Эффективно карьер проветривается до глубины примерно в 200-250 м.

*Термические силы* проявляются при подогреве или охлаждении отдельных объемов воздуха из-за чего плотность их становится отличной от плотности окружающей среды и при этом развивается выталкивающая сила.

Термическая сила зависит в первую очередь от инсоляции бортов и дна карьера. Она имеет второстепенное значение после ветровых сил в процессе проветривания карьера. В тоже время сильное охлаждение воздуха в приземном слое может значительно затруднить или даже приостановить естественное проветривание.

При различной освещенности солнцем отдельных зон внутрикарьерного пространства или воздействии ветра на один из бортов возникают небольшие *разности статических давлений*. Наличие этих разностей давлений вызывает потоки воздуха небольшой интенсивности от зон большего давления к зонам меньшего.

*Значительные количества энергии* могут выделяться в карьере от *технологических процессов* и в первую очередь при БВР. Воздух в карьере при взрыве получает мощный импульс, направленный вверх. Энергия этого импульса бывает достаточна для выноса за пределы карьера значительных ко-

личеств газов ВВ и пыли. Некоторое влияние на локальное состояние воздушной среды оказывают и гидромониторные струи.

Воздействие перечисленных сил приводит к *пульсационному и поступательному* движениям воздуха в атмосфере карьера. Вследствие этого турбулизация атмосферы карьера может быть как больше, так и меньше, чем на поверхности.

### 2.1.6. Схемы естественного проветривания карьеров

Карьер является частью земной поверхности, и воздухообмен в нем определяется в основном теми же факторами, т.е. скоростью ветра и распределением температуры в приземном слое воздуха.

При ветре с достаточно высокими скоростями в приземном слое, в карьере образуется либо *свободная* (рис. 2.1.6.1а), либо *полуограниченная* (рис. 2.1.6.1б) струи, которые обеспечивают эффективный вынос вредностей.

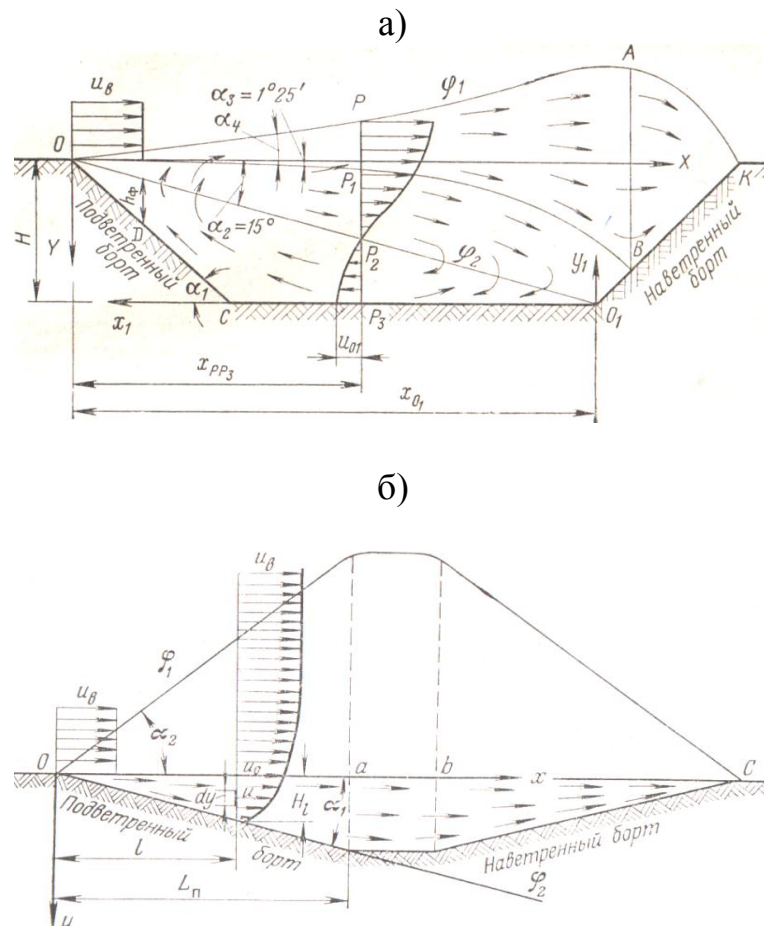


Рисунок 2.1.6.1. Схемы проветривания карьера:  
а – рециркуляционная; б – прямоточная

*Свободная или рециркуляционная струя* образуется при большом угле откоса борта карьера при разработке крутопадающих и наклонных месторождений. Эта струя образует *обратную струю второго рода* в зоне **ОБСО**

и приводит к многократной циркуляции части воздуха в объеме карьера. Эта зона **ОБСО** называется *застойной или мертвой*, т.к. часть вредностей при рециркуляции будет возвращаться обратно в эту зону и со временем накапливаться в ней.

Схема проветривания с полуограниченной струей называется *прямоточной*, т.к. воздух в карьере движется в одном направлении и не имеет застойных зон. Эта схема встречается при разработке горизонтальных и пологих месторождений.

При отсутствии ветра или его малой скорости движение воздуха в карьере формируются под действием *термических и объемных* (силы тяжести, инерции и др.) сил.

Воздух в карьере подогревается дном, бортами за счет протекания окислительных процессов, эндогенным теплом пород, а также под действием солнца. Слои воздуха, прилегающие к подогреваемым поверхностям, становятся более легкими и, двигаясь вдоль бортов карьера, поднимаются вверх, вынося вредности. Такая схема проветривания называется *конвективной или переносной*. Эффективность проветривания карьера по этой схеме низкая.

При морозах воздух становится более тяжелым и опускается на дно карьера. При этом на дно карьера заносятся и все вредности с вышележащих уступов. Такая схема движения воздуха называется *инверсионной* или *перестановочной* и вынос вредностей из карьера практически не происходит. Периоды инверсии на карьерах могут быть значительны по времени.

Кроме указанных четырех основных схем движения воздуха в карьере могут возникать различные их комбинации: рециркуляционно-прямоточная, инверсионно-конвективная; прямоточно-рециркуляционная.

## 2.2. Термодинамика атмосферы карьеров

**Термодинамика** – наука о превращениях энергии, сопровождающихся тепловыми эффектами. *Термодинамика атмосферы* карьеров изучает ее термодинамическое состояние.

### 2.2.1. Источники тепла

Основными источниками нагревания воздуха в карьере являются его естественное *адиабатическое сжатие* вышележащими слоями воздуха, *инсоляция* поверхностей карьера, пожары и другие *окислительные процессы*, *эндогенное тепло* горных пород.

*Адиабатическое сжатие* воздуха при опускании в карьер вызывает увеличение его температуры на 1°С на каждые 100 м вертикальной высоты.

*Инсоляция* или облучение солнцем бортов и дна карьера является значительным источником тепла, отдаваемого ими в карьер.



*Окислительные процессы* в карьере при экзотермических реакциях также являются ощутимыми источниками тепла, например при горении угля в массиве, на отвалах и т.д.

*Эндогенное тепло* поступает в карьеры из глубин. В среднем на глубине 100 м температура пород составляет 4-12°C, а на глубине 300 м уже 7-18°C. Такая разница температуры зимой больше, а летом меньше.

### **2.2.2. Температурная стратификация атмосферы**

Тепловыделение от различных источников в карьере приводит к увеличению температуры воздуха с глубиной разработки. Зимой, когда карьер заполнен массами тяжелого холодного воздуха возможно понижение температуры в карьере с увеличением глубины. Понижение температуры в карьере в этот период возможно также за счет отражения снегом (до 50 %) энергии солнца.

Воздух, заполняющий карьер, условно представляют разделенным на тонкие горизонтальные слои с постоянной температурой. По такой схеме температура в слоях будет изменяться по вертикали скачками от слоя к слою, т.е. говорят, что происходит *вертикальная стратификация* или температурное расслоение атмосферы карьера.

Температура воздуха в карьере изменяется и по горизонтали. У бортов температура такая же, как и температура бортов. По мере удаления от них она может уменьшаться или увеличиваться.

Изменение температуры атмосферы карьера, как по вертикали, так и по горизонтали приводит к пространственной неоднородности температурного поля.

Это означает, что линии одинаковой температуры (изотермы) в вертикальной плоскости будут изогнуты: в вертикальной плоскости вдали от прогретых бортов примерно горизонтальны; по мере приближения к бортам они изгибаются вверх; при охлажденных бортах они будут изгибаться вниз.

В горизонтальной плоскости линии равной температуры имеют вид замкнутых кривых, расстояния между которыми по мере удаления от бортов увеличиваются.

### **2.2.3. Термические силы и их влияние на атмосферу карьера**

Причиной появления термических сил в карьерах является неоднородность поля плотности их атмосферы из-за неоднородности температурного поля воздушной среды. Неоднородность поля вызывается различной степенью прогретости отдельных объемов воздуха, его химическим составом и влажностью.

Термические силы в полной мере проявляются при штилевой погоде или скорости ветра до 1 м/с. В этом случае от них в наибольшей степени за-

висит подвижность атмосферы карьера и интенсивность удаления вредностей из него. Влияние термических сил возрастает с глубиной разработки.

Движения воздуха, вызванные термическими силами, подразделяются на движения, охватывающие весь объем или значительную часть объема карьера и движения элементарных объемов воздуха. Первые относительно устойчивы во времени и определяются как *поступательные*. Вторые периодически изменяются в короткие промежутки времени и называются *пульсационными*.

*Поступательные* движения воздуха совершаются вверх или вниз зависимости от термического состояния движущихся масс воздуха. Вертикальные движения вызывают вторичные горизонтальные поступательные движения воздуха из-за вытеснения ниже или вышележащих объемов воздухом, находящимся в вертикальном движении.

При прогревании дна и бортов карьера теплый воздух поступает вверх не вертикально, а вдоль бортов. Его поток прижимает к бортам более холодный воздух, опускающийся в карьер. Такое движение воздуха называется *конвективным*.

В холодное время тяжелый холодный воздух вдоль бортов поступает в карьер, вытесняя более теплый центральной его части. Такое движение называется *инверсионным* или обратным конвективным.

*Пульсационные* термические движения воздуха в карьере характеризуются значением пульсационной скорости, интенсивностью турбулентности и их энергетическими параметрами.

Турбулентные пульсации являются источником значительных энергий. Например, в летний период энергия турбулентных пульсаций равняется энергии ветрового движения.

#### 2.2.4. Туманообразование

Туманообразование в карьерах вызывает уменьшение видимости и нарушает санитарные условия труда. С ухудшением видимости затрудняется выполнение производственных процессов, а иногда их приходится приостанавливать.

Туман образуется при наличии в воздухе водяного пара и достаточно сильном охлаждении в вечернее и ночное время, когда поверхность карьера интенсивно охлаждается при отдаче тепла, т.е. его лучеиспускании или радиации. Такие туманы называются туманами *радиационного* происхождения. Туманы, образующиеся только в карьере, обычно бывают радиационного происхождения.

Способствует образованию туманов и горизонтальный перенос (адвекция) в район карьера теплых масс воздуха в приземном слое атмосферы. Туманы, образующиеся только при адвекции, называются туманами *адвекционного* происхождения.

В тоже время наиболее общий случай образования туманов включают и радиацию и адвекцию. В этом случае могут образовываться особенно густые туманы, продолжительностью до 10 часов, причем и несколько суток подряд.

На образовании туманов существенное влияние оказывает загрязнение атмосферы примесями, особенно механическими. Твердые частицы, находящиеся в воздухе, являются ядрами конденсации водяных паров и способствуют туманообразованию.

Туманы могут насыщаться дымом и вредными газами вследствие работы различных машин и осуществления производственных процессов в карьере, газовой выделений из вскрытых пород и полезного ископаемого. Такие туманы в метеорологии называются *смогами*.

Для рассеивания туманов, в карьерах производят распыление веществ, которые способствуют появлению ядер кристаллизации, т.е. кристалликов льда или переохлажденных капелек воды. Такими веществами являются: твердая углекислота, дымки серебра и йодистого свинца, хлористый кальций и др. Хорошие результаты дают также распыление в атмосфере карьера горячей воды вентиляторами и производство взрывных работ.

## 2.3. Газовая динамика карьеров

### 2.3.1. Основные понятия

**Газовая динамика** в аэрологии карьеров – это раздел изучающий *распространение* газообразных примесей в их атмосфере.

Процессы переноса газов делятся на *стационарные*, характеристики которых не изменяются во времени, и *нестационарные*, изменяющиеся во времени.

*Стационарные* – это процессы переноса газов с постоянной интенсивностью (с обнаженных поверхностей карьера, подземных вод, при окислении или горении пластов, отвалов и т.п.), при неизменном аэродинамическом режиме атмосферы карьера (постоянная скорость ветра и температурная стратификация атмосферы карьера).

*Нестационарные* – это процессы переноса газов после ВР, процесс накопления газов в карьере при инверсиях и т.п.

Распространение газов в воздушном потоке происходит в процессе:

- увлечения их движущимся воздухом;
- молекулярного перемешивания с чистым воздухом;
- турбулентного перемешивания.

В соответствии этими распространениями различают переносы газов:

- конвективный;
- молекулярный;
- турбулентный.

Последние два называют *молекулярной и турбулентной диффузией* (растеканием). Если одновременно с ними происходит и конвективный перенос, то их называют *конвективный и молекулярный или конвективный и турбулентный переносы* или *диффузии*.

*Молекулярная диффузия* – это взаимное проникновение молекул диффундирующих сред.

*Турбулентная диффузия* – обмен объемами. Она более интенсивна, чем молекулярная диффузия.

*Конвективный перенос* газа происходит в направлении движения потока воздуха и является основным, обеспечивающим вынос газообразных примесей их карьера.

*Молекулярный и турбулентный переносы* происходят во всех направлениях от источника газовой выделении и способствуют уменьшению концентрации газа в воздухе.

При больших скоростях ветра в карьере преобладает конвективный перенос газа, а при термических конвективных движениях воздуха – турбулентный. При штилевой погоде и инверсионных состояниях атмосферы карьера преобладает молекулярный перенос газов.

Выделяющиеся в карьере газы по плотности могут существенно отличаться от плотности воздуха и могут способствовать диффузии (активные), например легкий газ метан, или сдерживать ее (пассивные), например  $\text{CO}_2$  и др.

Газы, поступающие в атмосферу карьера в виде свободной струи (выхлопные газы ДВС, труба ОФ и др.) распределяются в ее сечении неравномерно. Максимальная концентрация газов находится на оси струи.

### **2.3.2. Распространение газов из точечных и линейных источников**

На рисунке. 2.3.2.1 показан факел газа от точечного источника, а на рисунке. 2.3.2.2 от линейного.

Угол ( $\varphi$ ) раскрытия факела газа – основная характеристика интенсивности рассеивания газа. Чем он больше, тем меньше концентрация газа в воздухе. Величина его зависит от соотношения продольного (конвективного) и поперечного (турбулентного) потока газа. При увеличении скорости воздуха продольный поток газа растет быстрее, чем поперечный. В результате, несмотря на то, что угол раскрытия факела уменьшается, концентрация газа в нем с возрастанием скорости ветра сокращается.

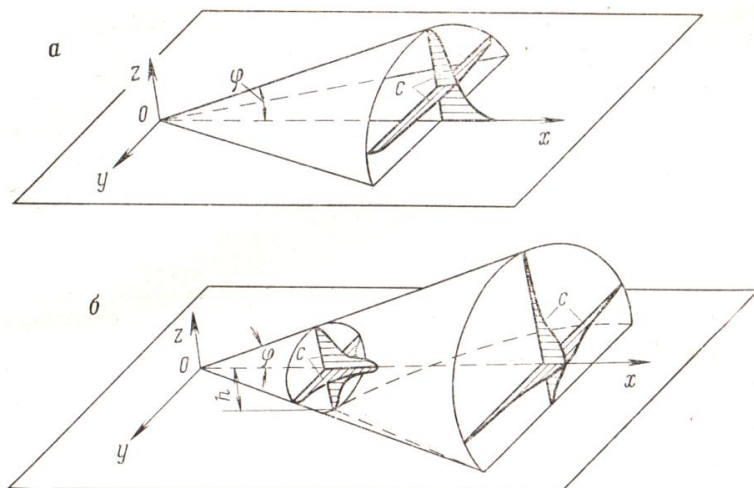


Рисунок 2.3.2.1. Схема раскрытия факела от точечного источника:  
 а – источник на поверхности уступа; б – источник на высоте  $h$  над поверхностью уступа

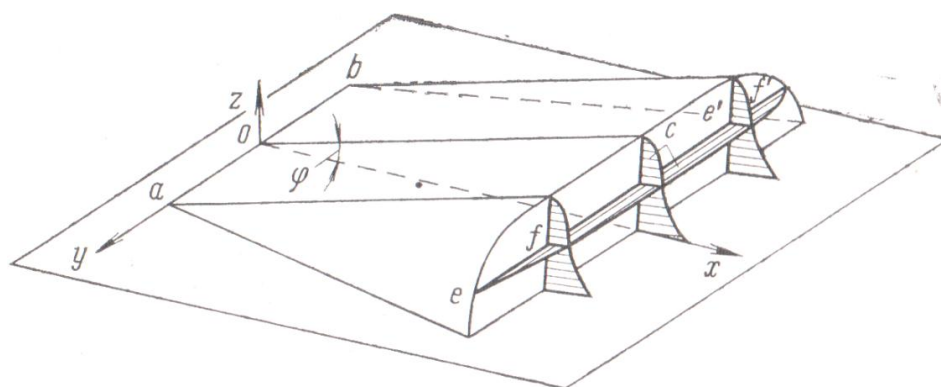


Рисунок 2.3.2.2. Схема раскрытия факела от линейного источника

Турбулизация атмосферы в карьере выше, чем на его поверхности, поэтому и углы раскрытия факелов больше. В результате расширения газового факела концентрация газа в нем резко уменьшается по мере удаления от источника.

Распространение газов происходит под действием различных сил: кинетической энергии взрыва; разности температур газов и окружающего воздуха; воздушных потоков, циркулирующих в во внутрикарьерном пространстве.

Турбулизация атмосферы карьера при рециркуляционной схеме проветривания выше, чем при прямоточной, поэтому углы раскрытия газовых факелов также больше.

Следует отметить, что угол раскрытия газового факела для легких газов больше, чем для тяжелых.

### 2.3.3. Распространение газов при взрывных работах

Распространение газов, которые выбрасываются в атмосферу при производстве взрывных работ, происходит под действием кинетической энергии взрыва, разности температур газов взрыва и окружающего воздуха в воздушных потоках, циркулирующих во внутрикарьерном пространстве.

Энергия взрыва формирует пылегазовое облако в течение 30-60 с. Газы и пыль выбрасываются на высоту 250 м и более и значительная их часть оказывается в зоне действия прямых воздушных потоков (вне зоны рециркуляции) и быстро выносятся из карьера.

Объем пылегазового облака практически прямо зависит от удельного расхода и массы ВВ взрываемого блока породы.

Энергия взрыва с массой ВВ до 300 т в карьерах, глубиной до 160 м помогает снизить содержание ядовитых газов до допустимых пределов через 5-20 мин, а более 300 т и в более глубоких карьерах. Но значительные количества ядовитых газов поступают из взорванной горной массы в течение 2-4 часов после взрыва и обнаруживаются (например, СО) в течение этого времени на расстоянии до 200 м от места взрыва.

## 2.4. Пылевая динамика карьеров

### 2.4.1. Основные законы

**Пылевая динамика** изучает движение в воздухе твердых частиц пыли. Эти частицы, взвешенные в воздухе, образуют совместно с ним аэродинамическую систему или *аэрозоль*. Особенностью аэрозоля является то, что твердые частицы движутся в нем практически независимо друг от друга и их движение можно изучать по движению одной частицы.

Движение пыли в воздухе имеет много общего с движением в нем газов:

- движение пылинок складывается из движения среды и движения частиц относительно последней;

- движение пылинок по отношению к воздуху определяется молекулярным движением воздушной среды, ее турбулентным движением и действием сил тяжести;

- пыль может изменять диффузионные свойства воздуха.

Это относится к характеристикам пылевых факелов от точечных и линейных источников в их поперечных сечениях и по длине, а также к характеристике пылегазового облака после взрыва ВВ в карьере.

Но есть и особенности:

- взаимная независимость движения отдельных пылинок;

- действие силы тяжести, приводящей к оседанию пылинок на твердые поверхности и более быстром уменьшении концентрации пыли в пылевом факеле.

Из этих особенностей следует, что в пылевой динамике карьеров *большую роль играет фракционный состав пыли*, который определяет, прежде всего, *скорость оседания пыли* или *скорость изменения концентрации пыли по длине пылевого факела*.

Движение аэрозоля меняет диффузионные свойства воздуха. Пылинки тяжелее воздуха и более инерционны, поэтому следуют за его пульсацией с некоторым отставанием. В результате этого происходит набегание воздуха на пылинки и его затормаживание и, как следствие, уменьшение турбулентности и диффузионной способности потока. При этом, чем крупнее частицы, тем больше уменьшается турбулентность потока.

Пылинки не оказывают друг на друга влияния, но если приближаются друг к другу, то они взаимодействуют и соединяются в агрегат частиц. Это явление называется **коагуляцией**. Агрегаты ведут себя как крупные частицы, они быстрее осаждаются и лучше задерживаются фильтрами. На этом явлении основаны некоторые способы борьбы с пылью: укрупнение частиц под действием акустических колебаний, смачивания их каплями воды и др.

Движению воздуха над осевшими пылинками сопутствует явление *сдувания пыли*. Скорость ветра, при которой начинается сдувание пыли и ее унос на высоте 10-15 см от поверхности зависит от размера и влажности частиц и колеблется от 2 до 10 м/с и более.

Запыленность воздуха у источника пылеобразования зависит от скорости ветра, а средняя концентрация пыли в факеле зависит от трех одновременно протекающих процессов:

- разбавления пыли воздушным потоком;
- ее сдувания;
- уноса пыли от источника пылеобразования.

С увеличением скорости ветра концентрация пыли в сечении пылевого факела вначале уменьшается из-за преобладания эффекта разбавления пыли проходящим воздухом над эффектом уноса тяжелых частиц. С дальнейшим увеличением скорости ветра действие этих эффектов взаимно уравнивается и уменьшение запыленности прекращается. С еще большим увеличением скорости ветра резко возрастает эффект сдувания ранее осевшей пыли и запыленность воздуха возрастает.

#### **2.4.2. Распространение пыли точечными и линейными источниками**

Распространение пыли в этом случае можно характеризовать, как и для газа. Но необходимо учитывать, что вследствие оседания частиц пыли под действием силы тяжести концентрация ее вдоль оси пылевого факела будет убывать быстрее, чем концентрация газа. Однако в нижних частях пылевого факела по той же причине относительная концентрация пыли (отношение концентрации в рассматриваемой точке поперечного сечения факела к концентрации на его оси в том же сечении) будет выше, чем концентрация газа.

### **2.4.3. Распространение пыли при взрывных работах**

Взрывные работы являются источником пылеобразования, распределенным по некоторой площади, кроме того добавляется фактор оседания пыли. Оседание пыли из пылегазового облака начинается после его формирования. По мере движения и развития облака пыли ширина полосы оседания увеличивается примерно по линейному закону и наибольшее количество осевшей пыли сосредотачивается вдоль этой полосы. Распределение осевшей пыли по ширине полосы оседания аналогично распределению концентрации газов и пыли в свободной струе и пылегазовом факеле, так как количество осевшей пыли находится в прямой зависимости от запыленности воздуха, из которого оседает пыль.

### **2.4.4. Запыленность карьера в целом**

Запыленность воздуха в карьере (средняя или общая) характеризует возможность использования воздуха внутри карьера для оздоровления атмосферы отдельных его участков. Чем выше запыленность воздуха в карьере, тем менее эффективным будет проветривание этим воздухом отдельных его участков, и наоборот. Если средняя запыленность воздуха достигнет или превысит ПДК, то проветривание внутрикарьерным воздухом становится невозможным и воздух необходимо подавать с поверхности.

Общая запыленность атмосферы карьера зависит от интенсивности пылеобразования при производственных процессах и от скорости ветра в карьере.

Увеличение интенсивности пылеобразования в производственных процессах увеличивает общую запыленность атмосферы карьера.

Скорость ветра влияет на запыленность воздуха в карьере следующим образом. При ветре до 1 м/с средняя или общая запыленность воздуха снижается из-за преобладания процесса разбавления источников пыли воздухом карьера. Со скорости 1 м/с начинается рост запыленности, продолжающийся до скорости примерно в 3,5 м/с. Это связано с преобладанием процессов уноса пыли от источников ее образования и сдувания осевшей пыли. При скорости более 3,5 м/с наблюдается уменьшение запыленности, что вновь связано с эффектом разбавления из-за ограничения поступления пыли в пространство карьера при ее уносе и сдувании при ограниченности поступления общей массы пыли.

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Какие основные законы аэростатики и аэродинамики используются для анализа естественного воздухообмена в карьере?
2. Что такое свободные турбулентные струи и ограниченные потоки движения воздуха в трубах?



3. В чем состоят законы движения воздуха в карьере и основные схемы естественного проветривания карьеров?
4. Какие законы термодинамики используются для анализа естественного воздухообмена в карьерах?
5. Какие известны основные источники тепла в карьере?
6. Что такое температурная стратификация атмосферы карьера?
7. В чем состоит влияние термических сил и на атмосферу карьера?
8. Какие известны основные законы газовой и пылевой динамики карьеров?
9. Каким образом происходит распространение газов и пыли из точечных и линейных источников их образования?
10. Каким образом происходит распространение газов и пыли при взрывных работах?
11. Как оценивается загазованность и запыленность карьера в целом?

## 3. ЕСТЕСТВЕННОЕ ПРОВЕТРИВАНИЕ КАРЬЕРОВ

### 3.1. Проветривание карьеров энергией ветра

#### 3.1.1. Общие сведения

Многообразии проявления законов движения воздуха в карьере сводится к нескольким основным схемам проветривания карьеров.

**Схема проветривания** – это графическое или аналитическое описание усредненных во времени процессов движения воздуха и выноса вредностей из карьера воздушными потоками.

Выделяют четыре основные схемы проветривания карьеров:

- прямоточную;
- рециркуляционную;
- конвективную;
- инверсионную.

Первые две формируются энергией ветра, господствующего на поверхности, а две последние – за счет энергии термических сил.

При высокой энергии (скорости ветра) возникновение прямоточной или рециркуляционной схемы зависит главным образом от геометрии карьера, в основном от углов откоса его бортов. Но при увеличении скорости ветра рециркуляционная схема проветривания, например, может переходить в прямоточную схему и наоборот. Это связано с увеличением или уменьшением угла раскрытия свободной струи при срыве потока воздуха с верхней бровки подветренного борта карьера.

Уменьшение энергии ветра приводит к появлению термических сил проветривания, которые формируют конвективную и инверсионную схемы.

Теория ветрового движения воздуха в карьере разработана В.С. Никитиным. Она предполагает отсутствие термических сил и действие только одного фактора, вызывающего движение воздуха в карьере, т.е. ветра на поверхности карьера.

#### 3.1.2. Прямоточная схема проветривания

Эта схема возникает при скорости ветра на поверхности карьера, превышающей 0,8-1 м/с, и при величине угла откоса подветренного борта карьера  $\alpha_1 \leq 15^\circ$ .

Поток воздуха, движущийся между плоскостью  $\mathbf{a} - \mathbf{a}$  и земной поверхностью, достигая карьера в точке  $\mathbf{O}$ , начинает расширяться в глубь карьера, вследствие чего происходит уменьшение скорости его движения (рис. 3.1.2.1). Над карьером образуется «шапка» из частично заторможенных слоев воздуха  $\mathbf{OAO}'$ . Учитывая эти особенности, движение воздуха в карьере можно представить в виде схемы (рис. 3.1.2.2).

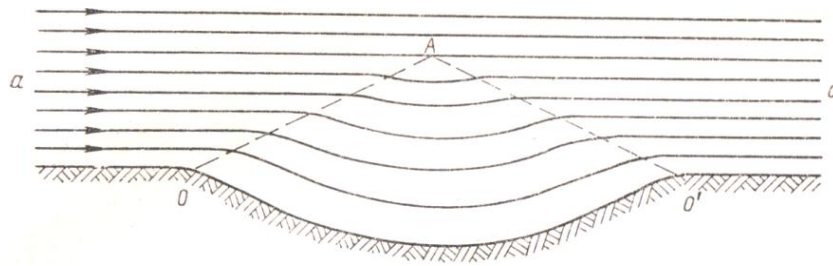


Рисунок 3.1.2.1. Схема расширения ветрового потока над карьером

Из рисунка 3.1.2.2 видно, что при прямоточной схеме ветровой поток на поверхности у верхней бровки подветренного борта карьера начинает расширяться в сторону карьера и омывает подветренный борт. Встретив наветренный борт карьера, поток воздуха поворачивает вверх и, двигаясь вдоль него, сужается.

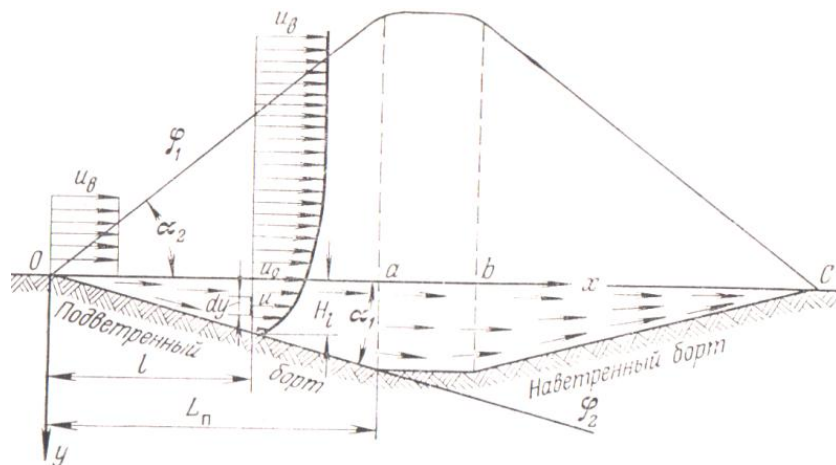


Рисунок 3.1.2.2. Прямоточная схема движения воздуха в карьере

Расход воздуха, проветривающего карьер рассчитывается для любого сечения потока воздуха на расстоянии  $L_n$  от бровки карьера и скорости воздуха на поверхности  $U_v$  по следующей формуле:

$$Q = 0,128 \cdot U_v \cdot L_n, \text{ м}^3/\text{с}.$$

При прямоточной схеме проветривания не образуются застойные зоны, где могли бы накапливаться вредности. Наблюдаются лишь местные загрязнения у источников загрязнения воздуха, а общего загрязнения не возникает.

Условия выноса вредностей из карьера тем лучше, чем меньше угол откоса бортов карьеров, так как при этом возрастает степень расширения воздушного потока и уменьшается скорость воздуха.

В тоже время условия проветривания подветренного и наветренного борта при этой схеме не одинаковы: подветренный борт проветривается чистым воздухом, а наветренный – воздухом, уже омывшим карьерную выемку и содержащим определенное количество вредностей.

### 3.1.3. Рециркуляционная схема проветривания

Эта схема возникает при скорости ветра на поверхности более 1 м/с и углах откоса подветренного борта карьера  $\alpha_1 > 15^\circ$ .

Рециркуляционная схема движения воздуха в карьере показана на рисунке 3.1.3.1. В точке **О** резко изменяется твердая граница ветрового потока (происходит срыв ветрового потока с верхней бровки борта карьера) и вследствие сил инерции потока в этой точке происходит его отрыв от твердой границы. В результате этого воздух в пространстве карьера движется в виде свободной плоскопараллельной струи с границами  $\gamma_1$  и  $\gamma_2$ . Выше границы  $\gamma_1$  скорость воздуха равна скорости ветра на поверхности  $U_B$ .

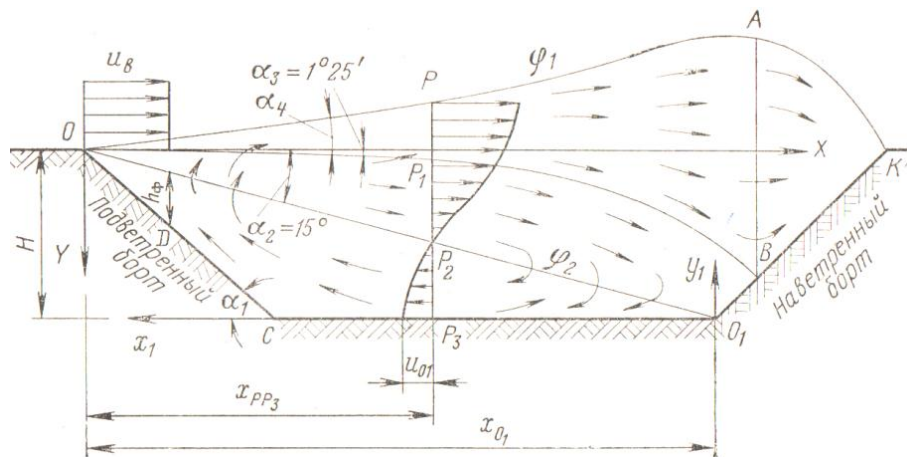


Рисунок 3.1.3.1. Рециркуляционная схема движения воздуха в карьере

Свободная струя при достижении точки **В** наветренного борта разделяется на две части. Верхняя часть, двигаясь вдоль борта вверх, выходит на поверхность (спутный поток воздуха или свободная струя **I** рода). Вторая поворачивает вниз и, двигаясь в направлении, противоположном первоначальному направлению, образует также свободную струю **II** рода.

Таким образом, при рециркуляционной схеме проветривания имеется 2 зоны с различным движением потока воздуха в них:

- зона спутного потока, совпадающего 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 и таким образом происходит многократная рециркуляция воздуха одних и тех же объемов.

В зоне спутного потока с глубиной скорости воздуха уменьшаются, а в зоне обратного потока, наоборот, возрастают и достигают максимума  $U_B$  (скорости ветра на поверхности), приближаясь к поверхности карьера. На дне карьера скорость движения воздуха, в зависимости от его глубины, находится в пределах  $(0,1 \div 0,5) \cdot U_B$ .

Расход воздуха, проветривающий карьер определяется по формуле

$$Q = k \cdot h_c \cdot U_v \cdot L_p,$$

где  $k$  – коэффициент замедления воздушного потока при подходе к подветренному борту (0,9);  $h_c$  – толщина свободной воздушной струи над верхней бровкой подветренного борта карьера;  $L_p$  – размер карьера на уровне поверхности в направлении, перпендикулярном направлению ветра (размер зоны рециркуляции в карьере), м.

Вынос вредностей из карьера осуществляется ядром постоянной массы ниже границы  $OP_1B$ , где поступившие в воздух примеси находятся в постоянном циркулярном движении. При установившейся интенсивности выделения вредностей в карьер их количество, поступающее в его атмосферу, равно количеству, выносимому из карьера ядром постоянной массы и концентрация примесей в зоне рециркуляции остается постоянной.

Вредности, поступающие в карьер выше границы постоянной массы, выносятся ветровым потоком непосредственно с выносом вредностей глубокой части карьера.

### 3.1.4. Комбинированные схемы ветрового проветривания

Реальная геометрия карьеров отличается от приведенных в предыдущих параграфах схем.

При больших размерах карьеров возможна рециркуляционно – прямоточная схема проветривания (рис. 3.1.4.1). По этой схеме, нижняя граница струи первого рода встречается с дном карьера в точке **В**. Правее этой точки, карьер проветривается ограниченным потоком воздуха по прямоточной схеме.

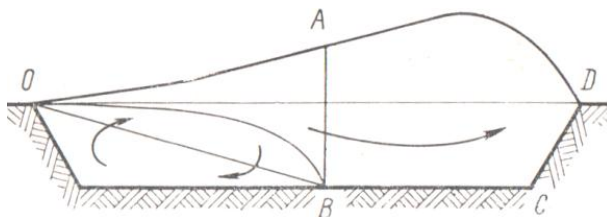


Рисунок 3.1.4.1. Рециркуляционно-прямоточная схема

При переменном угле подветренного борта возможна прямоточно-рециркуляционная схема проветривания (рис. 3.1.4.2).

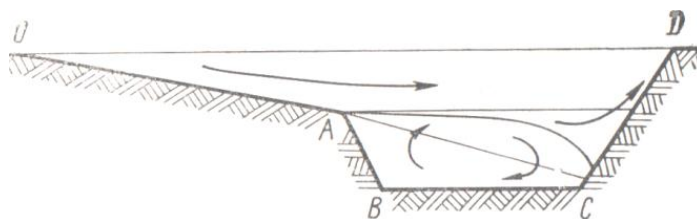


Рисунок 3.1.4.2. Прямоточно-рециркуляционная схема

По этой схема часть карьера, примыкающая к верхней, пологой части подветренного борта проветривается по прямоточной схеме, а остальная часть – по рециркуляционной.

В практике горных работ возможны и другие комбинации.

## 3.2. Проветривание карьеров энергией термических сил

### 3.2.1. Общие сведения

При скорости ветра на поверхности менее 2 м/с термические силы оказывают заметное влияние на проветривание карьеров.

При меньшей скорости ветра и в зависимости от величины температурного градиента в карьере устанавливается конвективное или инверсионное движение или схема движения воздуха.

При конвективной схеме более теплые нижележащие слои воздуха поднимаются вверх и выносят с собой вредности.

При инверсионной схеме движения охлажденные слои воздуха поступают вниз и заносят вредности в глубокую часть карьера. Примеси накапливаются в нижней части карьера и могут вызвать остановку его работы.

### 3.2.2. Конвективная схема проветривания

Эта схема 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. Общий прогрев бортов вызывает движение воздуха во всем карьере.

Конвективная схема проветривания начинает формироваться при скорости ветра не более 0,7-0,8 м/с.

При этой схеме проветривания массы теплого воздуха поднимаются вверх не вертикально, а движутся вдоль уступов из-за прижимающего эффекта опускающихся холодных масс воздуха (рис. 3.2.2.1).



Рисунок 3.2.2.1. Движение воздуха в карьере при конвективной схеме

В дневное время борта карьера нагреваются под влиянием солнечной радиации, причем для наших широт северный борт нагревается больше. В ре-

зультате вдоль северного борта к поверхности движутся большие массы воздуха и скорость их выше, чем скорости потоков вдоль южного борта.

Вынос вредностей из карьера осуществляется восходящими воздушными потоками, движущимися вдоль бортов карьера. При этом количество вредностей в потоке возрастает по мере приближения его к поверхности.

### 3.2.3. Инверсионная схема движения воздуха

Эта схема возникает при охлаждении бортов карьера и малой энергии ветрового потока на поверхности ( $\leq 0,7-0,8$  м/с). В этом случае создаются условия для перемещения вниз более холодных и, следовательно, более тяжелых масс воздуха. Такое движение воздуха может возникать и при прохождении над карьером фронта холодного атмосферного воздуха.

Прилегающие к бортам слои воздуха более холодные и как более тяжелые поступают вниз, на дно карьера, проникают под слои теплого воздуха и вытесняют их наверх. По мере развития инверсии высота слоя холодного воздуха в карьере увеличивается и может заполнить весь карьер.

Схема движения воздуха в карьере, когда часть его с высотой  $h$  уже заполнена холодным воздухом, показана на рис. 3.2.3.1. Этот слой называется слоем инверсии, а его верхняя граница – уровнем инверсии.

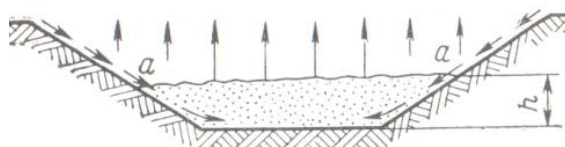


Рисунок 3.2.3.1. Движение воздуха при инверсионной схеме

Инверсии воздуха могут быть различной продолжительности: от нескольких часов до нескольких дней и даже недель.

При инверсионной схеме вынос вредностей из карьера практически не происходит. Поступающие вдоль бортов вниз массы холодного воздуха увлекают вредности, образующиеся на уступах, на дно карьера.

При глубоких и длительных инверсиях работы в карьере прекращают, а людей выводят на поверхность.

## 3.3. Комбинированное проветривание карьеров

### 3.3.1. Схемы комбинированного проветривания

При комбинированных схемах проветривания карьеров происходит совместное проявление ветровых и термических сил и законов движения воздуха. Это происходит при скорости ветра на поверхности от 2 до 5 м/с.

Ветровой поток с поверхности проникает в карьер на глубину не более 200-250 м. Ниже этого уровня энергия ветрового потока уже не оказывает



влияния на формирование воздушных потоков в карьере. Эти потоки формируются на глубине под действием термических сил и, в глубокой части, движение воздуха может быть конвективным или инверсионным.

При прямоточно-конвективном движении воздуха в карьере верхняя его часть проветривается энергией ветра, а нижняя – конвективными термическими силами (рис. 3.3.1.1).

Если борта карьера имеют разную температуру, возникает конвективно-инверсионная схема проветривания (рис. 3.3.1.2).

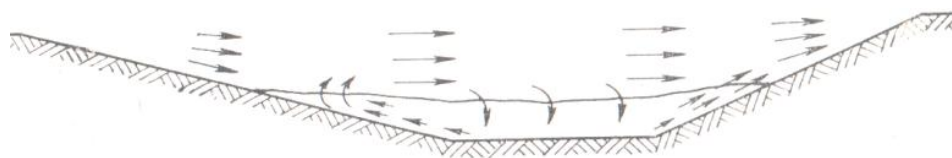


Рисунок 3.3.1.1. Прямоточно-конвективная схема



Рисунок 3.3.1.2. Конвективно-инверсионная схема

### Вопросы для самоконтроля

1. Что такое схема проветривания карьера?
2. Какие силы участвуют в естественном проветривании карьеров?
3. В чем заключаются основные сведения о проветривании карьеров энергией ветра?
4. Какие известны основные схемы ветрового проветривания карьера?
5. Каким образом участвует в проветривании карьеров энергия термических сил?
6. Какие существуют схемы температурного движения воздуха в атмосфере карьера?
7. В чем состоят схемы комбинированного проветривания карьера?



## 4. ИСКУССТВЕННАЯ ВЕНТИЛЯЦИЯ КАРЬЕРОВ

### 4.1. Условия применения и способы искусственной вентиляции

**Искусственная вентиляция карьера** – это интенсификация воздухообмена в нем различными целенаправленными действиями человека.

Искусственная вентиляция необходима, если естественная интенсивность воздухообмена в карьере недостаточна для поддержания нормального санитарно-гигиенического состояния атмосферы в местах ведения горных работ.

Условия накопления вредностей в карьере следующие:

- уменьшение энергии ветрового потока на поверхности;
- появление в атмосфере карьера вертикальных температурных градиентов, величина которых меньше адиабатических;
- повышение интенсивности выделения вредностей в атмосферу карьера.

Существующие способы искусственной вентиляции делятся на два класса:

1. Интенсификации естественного воздухообмена;
2. Собственно искусственной вентиляции.

Способы интенсификации естественного воздухообмена следующие:

- выбор ориентации карьера в плане;
- выбор рациональных по проветриванию размеров карьера;
- создание на поверхности у карьеров искусственных сооружений для увеличения скорости и турбулизации ветрового потока;
- изменение окраски обнажений горных пород;
- аккумуляция тепла в специальных резервуарах;
- использование глубинного тепла горных пород.

К способам собственно искусственной вентиляции относятся:

- вентиляция с помощью труб и подземных выработок;
- вентиляция свободными струями с помощью специальных вентиляторных установок.

Способы искусственной вентиляции также делятся на способы *местной* и *общеобменной* вентиляции.

Местная вентиляция используется для очистки небольших объемов карьерного пространства (забоев, перегрузочных пунктов и др.).

Общеобменная вентиляция применяется для очистки значительных пространств или даже всего карьера.

### 4.2. Интенсификация естественного воздухообмена

Интенсификация естественного воздухообмена необходима при разработке карьера большой глубины. Эти способы ограничены, а эффективность

их невелика и в настоящее время они являются вспомогательными средствами вентиляции.

Интенсифицировать воздухообмен в карьере можно ориентацией его длинной оси в плане по направлению господствующего ветра, если позволяет расположение залежи. В этом случае объем зоны рециркуляции будет небольшой. Если ориентировать карьер короткой осью по направлению господствующего ветра, то зона рециркуляции (заштрихованная часть, рис. 4.2.1) значительно превысит зону прямого движения воздуха и проветривание ухудшится.

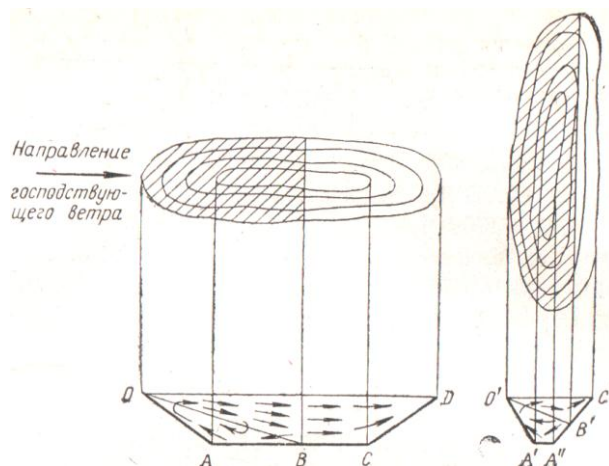


Рисунок 4.2.1. Схемы ориентации карьера в плане по отношению господствующих ветров

Большое влияние на проветривание карьеров оказывает их глубина. Чем она больше, тем воздухообмен хуже.

Интенсивность воздухообмена зависит от отношения глубины карьера  $H$  к его длине в направлении ветра  $L$ . Чем меньше отношение  $H/L$ , тем карьер будет лучше проветриваться. С увеличением этого отношения все большая часть карьера охватывается зоной рециркуляции, а при величине  $\geq 0,3$  все нижние горизонты карьера попадают в эту зону.

Угол откоса и профиль борта карьера также существенно влияют на воздухообмен в нем. С уменьшением угла откоса сокращается объем зоны рециркуляции и может привести к эффективной прямооточной схеме проветривания.

Придание профилю борта скругленной формы приводит к тому, что отрыв ветрового потока от твердой поверхности происходит в точке, расположенной ниже уровня поверхности. Это вызывает увеличение угла раскрытия струи с  $15^\circ$  до  $35-45^\circ$ , что значительно уменьшает зону рециркуляции и улучшает проветривание.

Улучшить вентиляцию карьера можно возведением на его поверхности специальных сооружений, направляющих и турбулизирующих воздушный поток, например, выбором расположения отвалов, зданий, направляющих щитов около верхней бровки с наветренной стороны карьера.

Такие сооружения называются **воздухозаборами**. Они позволяют увеличить скорость ветрового потока над карьером на 10-20 %. Расстояние между этими сооружениями не должно превышать ширину карьера, а оптимальный угол их схождения к карьеру примерно равен  $70^\circ$  (рис. 4.2.2).

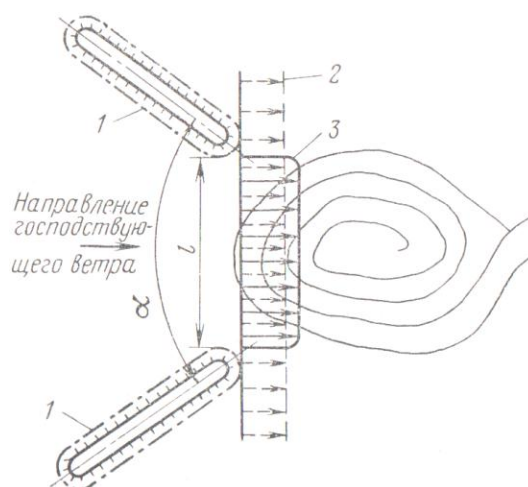


Рисунок 4.2.2. Схема воздухозабора: 1 – отвалы; 2 и 3 – эпюры скорости ветрового потока над карьером соответственно при отсутствии и наличии воздухозабора

Искусственные сооружения увеличивают угол раскрытия ветрового потока, поступающего в карьер. При этом уменьшается объем рециркуляционной зоны и улучшается проветривание карьера.

Неправильная ориентация этих сооружений ухудшает проветривание.

Установка направляющих щитов на верхней бровке карьера с наветренной стороны увеличивает угол вхождения ветрового потока в карьер на  $15-20^\circ$ . Это позволяет сохранить прямоточную схему проветривания при углах наклона бортов до  $50^\circ$ .

Нанесение битумной пленки или слоя шлака на обнажения горных пород изменяет окраску и увеличивает разность температур между воздухом и поверхностью карьера в 2-4 раза по сравнению с необработанной поверхностью. Тепловой поток направляется от поверхности карьера в воздух. Светлые покрытия охлаждают поверхность (отсевы щебня, известковая пушонка и т.д.), т.е. тепловой поток направлен от воздуха к твердой поверхности.

Увлажнение или орошение пород, выделение грунтовых вод из их массива, атмосферные осадки, все это способствует охлаждению поверхности карьера. Все это ухудшает воздухообмен в летнее время. В осенний период наоборот, улучшает его.

Аккумуляция тепла в специальных резервуарах основана на накоплении тепла теплоносителями, например баками с водой. Аккумуляция тепла происходит под действием солнечной радиации днем, а теплоотдача ночью, уменьшая опасность ночных инверсий.

С углублением в недра земли температура горных пород повышается. Для использования этого тепла можно проводить подземные выработки, пропускать через них воздух, нагревать его и подавать его в карьер. То же могут давать подземные воды при их остывании.

### **4.3. Вентиляция с применением труб и использованием выработок**

При этом способе по бортам карьера прокладывают трубопроводы или проводят подземные выработки к его бортам или дну.

При нагнетательном способе вентиляции, чистый воздух подается вентиляционной установкой в карьер и распространяется в виде свободной струи. При ее работе на всасывание загрязненный воздух засасывается из карьера и выбрасывается из карьера. В этом случае способ вентиляции всасывающий.

Эти способы малоэффективны из-за ограниченности подачи воздуха существующими средствами вентиляции.

## **4.4. Технические средства при вентиляции свободными струями**

### **4.4.1. Классификация технических средств**

Технические средства для вентиляции карьеров свободными струями делятся на следующие группы:

1. Установки на базе вентиляторов.
2. Установки на базе двигателей авиационной техники.
3. Тепловые установки.

В установках 1 группы используются шахтные и специальные карьерные вентиляторы. В установках 2 группы – турбовинтовые и турбореактивные авиационные двигатели. В установках 3 группы используется принцип конвективного движения подогретых масс воздуха с помощью тепловыделяющих элементов.

По температуре воздушных струй все установки подразделяются на изотермические и неизотермические.

Температура изотермических струй равна температуре окружающего воздуха. Температура неизотермических струй выше температуры окружающей среды из-за предварительного подогрева двигателями.

Неизотермические струи создаются установками 2 и 3 групп, но эффективность проветривания изотермическими струями (установки 1 группы) выше и они более экономичны, поскольку их параметры не зависят от температурных условий в карьере.

В установках 1 группы применяются шахтные вентиляторы типа «Прходка», ВМ и др., стационарные и специальные карьерные вентиляторы (ВПУ-6). Эти установки применяются для местного проветривания небольших зон загрязнения и используются как с трубопроводами, так и без них.

Если размеры зоны загрязнения превышают дальность струи вентилятора, то для их проветривания применяют вентиляторы с трубопроводами длиной до 150 м.

Вентиляторы без трубопроводов применяются, когда поперечный размер зоны загрязнения не превышает дальности струи вентилятора.

Вентилятор ВПУ-6 был создан специально для карьера и выполнен передвижным на двух железнодорожных платформах: на первой размещена поворотная рама с вентилятором, а на второй – электрооборудование и аппаратура управления. Дальность этой установки в горизонтальном направлении составляет 700 м, а дебит воздуха на этом расстоянии 33500 м<sup>3</sup>/с.

В установках второй группы применяются самолетные и вертолетные двигатели. Эти установки используются для местной и общеобменной вентиляции карьеров.

Установки местного проветривания (УМП-1) созданы на базе винта АВ-2 диаметром 3,6 м, смонтированного в передней части автомобиля БелАЗ 548А (7548). Установка включает систему орошения из поливочного бака машины. Привод винта осуществляется от вала отбора мощности двигателя автомобиля. Система управления винтом позволяет его отклонять в горизонтальной плоскости на 45° и в вертикальной на 15° от горизонта. Дальность установки составляет 350 м с расходом воздуха 7500 м<sup>3</sup>/с.

На базе турбовинтового двигателя АИ-20 от самолета ИЛ-18 создана вентиляторная установка АИ-20КВ (карьерный вентилятор) с 4-х лопастным винтом диаметром 4,5 м и системой орошения. Она смонтирована на платформе, перевозимой автомобилем КрАЗ-256. Установка создает неизотермическую струю дальностью 800 м, расходом воздуха 45000 м<sup>3</sup>/с и обеспечивает гидрообеспыливание застойных зон карьера объемом до 60 млн. м<sup>3</sup>.

Установка НК-12КВ от двигателя НК-12 самолета ТУ-114 создает изотермические струи четырехлопастным винтом диаметром 5,6 м, имеет систему орошения и смонтирована на полноповоротной платформе гусеничной ходовой тележке экскаватора. Дальность 1300 м с расходом воздуха в конечном сечении 90000 м<sup>3</sup>/с. Установка обеспечивает проветривание застойных зон объемом до 200 млн. м<sup>3</sup>.

Универсальная вентиляторная установка УВУ-1 создана на базе турбореактивного двигателя РВ-3М-500 от самолета ТУ-104 и смонтирована на платформе самосвала БелАЗ-540. Установка имеет отклоняющее устройство по горизонтали в 45° и вниз на 15°. Она предназначена для общеобменной вентиляции карьеров струей дальностью 1300 м с расходом воздуха 93000 м<sup>3</sup>/с.

На базе вертолетных винтов для создания мощных вертикальных струй разработаны установки местного проветривания УМП-14 и УМП-21 с электрическими двигателями.

Установка УМП-14 создана на базе винта вертолета МИ-1А диаметром 14,4 м с вертикальной дальностью 200 м и расходом воздуха до 30000 м<sup>3</sup>/с.

Установка УМП-21 имеет винт вертолета МИ-4 диаметром 21 м, дальностью 400 м и расход  $80000 \text{ м}^3/\text{с}$ .

Эти установки совместно с другими могут использоваться для общеобменной вентиляции, создавая струи, выносящие из карьеров вредности.

Тепловые установки 3 группы создают конвективные воздушные струи, т.е. струи, образуемые свободно поднимающимися массами нагретого воздуха. Эти струи образуются при сжигании топлива в специальных устройствах. Такие тепловые установки называются метеотронами.

Установка УТ-ЛФИ-2 состоит из двух параллельных рядов тепловыделяющих элементов, расположенных на стреле драглайна (рис. 4.4.1.1).

Дальностью конвективной струи достигает 500 м с расходом воздуха до  $80000 \text{ м}^3/\text{с}$ .

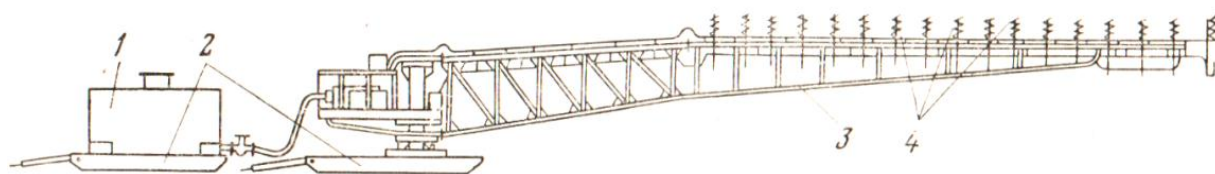


Рисунок 4.4.1.1. Схема тепловой установки УТ-ЛФИ-2:

1 – бак с горючим; 2 – тракторные прицепы; 3 – стрела; 4 – тепловыделяющие элементы

Установка УКПК-1 имеет аналогичный принцип действия, но конструктивно выполнена в виде цилиндра, диаметром 10 м, который формирует поток. Внутри цилиндра двумя концентрическими окружностями диаметром 1,5 и 3,5 м расположены тепловыделяющие элементы – форсунки (рис. 4.4.1.2). Вертикальная дальностью струи составляет 300 м, а расход воздуха до  $50000 \text{ м}^3/\text{с}$ .

Достоинство этих установок – простота, а недостаток – дополнительное загрязнение атмосферы карьера продуктами сгорания.

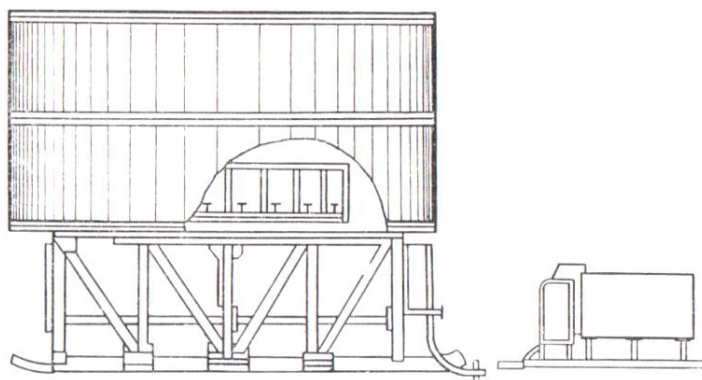


Рисунок 4.4.1.2. Схема установки УКПК-1

## 4.5. Структуры струй

*Структура струи* определяет ее эффективность и имеет существенное значение при выборе схемы вентиляции карьеров.

Особенностью струй, создаваемых авиационными винтами, является неравномерность распределения скоростей воздуха в начальном сечении и закручивание воздушного потока в струе. Закручивание струи уменьшает ее дальность. Для исключения этого недостатка применяют спрямляющие аппараты, которые устанавливают в начальном сечении струи после винта. При этом дальность струй увеличивается в 1,2-1,6 раза.

Контакт воздушной струи с твердой поверхностью вызывает изменения в ее структуре. Она становится ниже в вертикальной плоскости и шире в горизонтальной (рис. 4.5.1). Этот эффект уменьшается при удалении струи от твердой поверхности.

Шероховатость поверхности также снижает дальность воздушной струи.

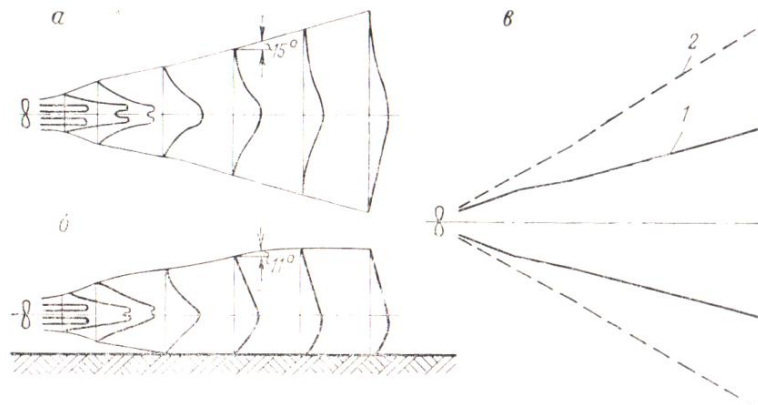


Рисунок 4.5.1. Схемы свободной (а) и полуограниченной (б) изотермических струй

Характерной особенностью струй, создаваемых турбореактивными двигателями, является перегрев струи и образование вследствие этого выталкивающих объемных сил, действующих вертикально. В результате начальный угол струи отличается от вертикального и ее траектория значительно искривляется (рис. 4.5.2).

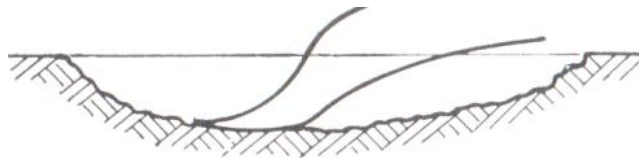


Рисунок 4.5.2. Схема горизонтальной подогретой струи в карьере



Объемные силы заметно снижают дальнобойность неизотермических струй при больших отрицательных углах их наклона.

При инверсиях дальнобойность, скорость и расход воздуха в распространяющейся вниз нагретой струе могут уменьшаться на 20-40 %.

При сгорании топлива в тепловых установках происходит нагрев воздуха и уменьшение его плотности по сравнению с воздухом окружающей среды. В результате появляются большие вертикальные выталкивающие силы, под действием которых нагретые массы воздуха устремляются вверх, создавая разрежение снизу от форсунок. Снизу к форсункам устремляются соседние массы воздуха, находящиеся под большим давлением, и процесс воздухообмена продолжается. Притекание холодных масс воздуха к конвективной струе происходит особенно интенсивно в нижней части струи, что приводит к ее поджатию (рис. 4.5.3). Выше области поджатия угол раскрытия струи стабилизируется, составляя примерно  $25^\circ$ . Точка **О** называется полюсом струи.

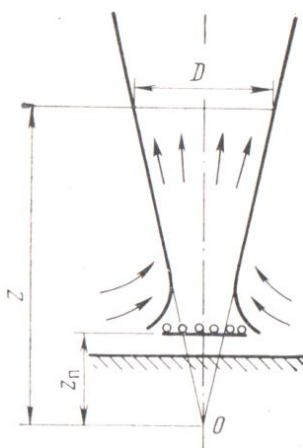


Рисунок 4.5.3. Схема конвективной струи

Слой инверсии наиболее быстро разрушается на верхних горизонтах, поэтому в начальный период уменьшают диаметр тепловыделяющей поверхности. Это позволяет сократить эжекцию холодных масс воздуха нижних горизонтов и быстрее пробить уровень инверсии теплым воздухом. После разрушения слоя инверсии верхних горизонтов диаметр тепловыделяющей поверхности увеличивают и этим увеличивают эжекцию воздуха нижних горизонтов.

## 4.6. Схемы вентиляции свободными струями

### 4.6.1. Общие положения

Схемы вентиляции зависят от характера и условий загрязнения атмосферы карьеров, горнотехнических условий и применяемых технических средств вентиляции.



Все схемы делятся на две большие группы: схемы местной вентиляции и схемы общеобменной вентиляции.

В свою очередь схемы общеобменной вентиляции делятся на следующие схемы:

- с изотермическими и неизотермическими струями;
- с конвективными струями;
- комбинированные.

Применение схем искусственной вентиляции предусматривает следующие общие принципы:

1. Подача чистого воздуха к местам проветривания более эффективна, чем отсос загрязненного воздуха.
2. Расположение вентиляторных установок в зоне чистого воздуха с направлением струи в загрязненные области карьера.
3. Максимальное использование энергии вентиляционной струи во внутрикарьерном пространстве.
4. Средняя скорость воздуха в струе на выходе из карьера не должна превышать достаточных значений необходимых для выноса газа ( $> 0,25$  м/с) и пыли ( $> 0,6$  м/с).
5. Эффективность вентиляторной установки повышается, если направление струи периодически изменяется с целью максимального увеличения обрабатываемого объема.
6. Обязателен учет направления и скорости ветра при вентиляции карьера.
7. Обязателен учет формы карьера в плане (рис. 4.6.1.1 и 4.6.1.2).

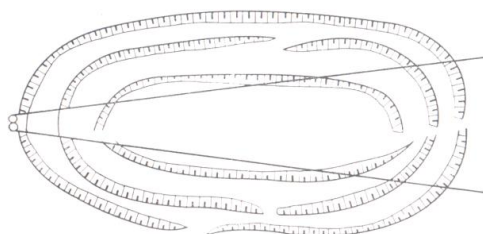


Рисунок 4.6.1.1. Схема вентиляции вытянутого в плане карьера

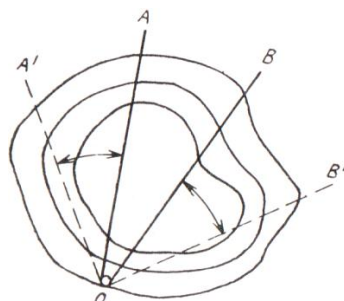


Рисунок 4.6.1.2. Схема вентиляции округлого в плане карьера струей переменного направления

8. При больших объемах зон загрязнения требуется применять последовательную, параллельную или последовательно-параллельную схемы работы вентиляторных установок (рис 4.6.1.3).

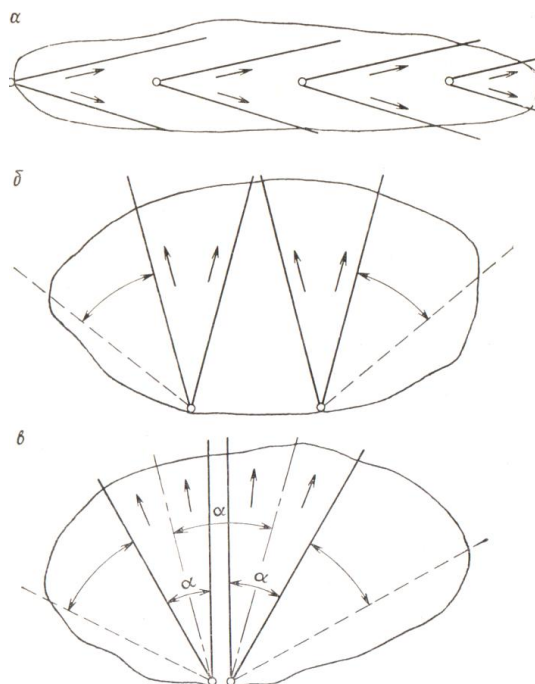


Рисунок 4.6.1.3. Схемы совместной работы вентиляторных установок:  
а – последовательная; б – параллельная; в – последовательно-параллельная

Вертикальные струи можно использовать как самостоятельно, так и совместно с вентиляторными установками.

#### 4.6.2. Схемы местной вентиляции

Вентиляторные установки располагаются на рабочих площадках, верхних уступах или на специальных фермах (рис. 4.6.2.1).

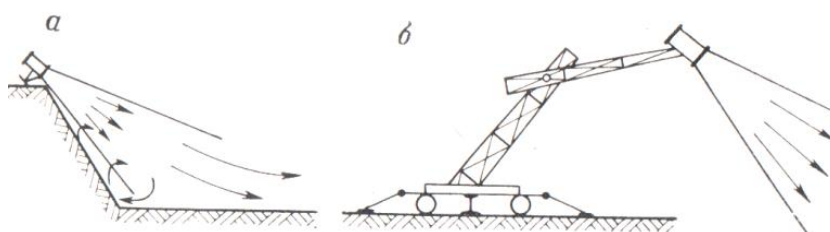


Рисунок 4.6.2.1. Схемы расположения вентиляторов местного проветривания:  
а – на верхнем уступе; б – на рабочей площадке и специальной ферме

Для интенсификации проветривания применяют нагнетательно-всасывающую схему вентиляции (рис. 4.6.2.2).

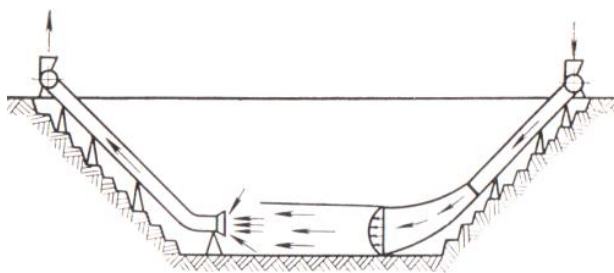


Рисунок 4.6.2.2. Схема нагнетательно-всасывающей вентиляции с применением трубопроводов

При взрывных работах в штилевую погоду пылегазовое облако либо рассеивается, либо перемещается вентиляторными установками в требуемом направлении. При ветре следует учитывать его направление (рис. 4.6.2.3).

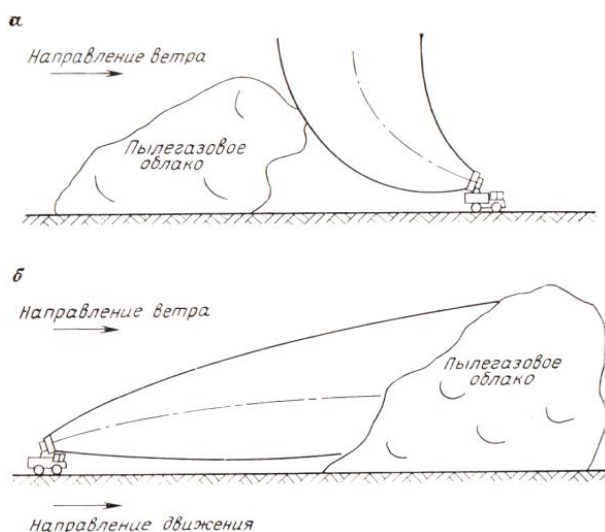


Рисунок 4.6.2.3. Схемы проветривания пылегазового облака при ветре: а – с применением воздушной завесы для недопущения прохождения облака к рабочим забоям; б – рассеиванием

При вентиляции развала взорванной породы установки располагаются по схеме, показанной на рис. 4.6.2.4.

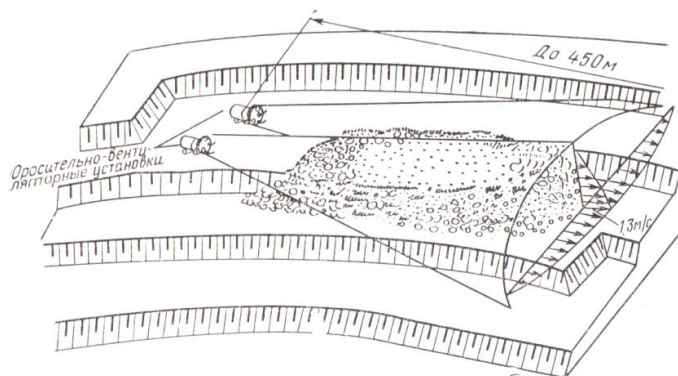


Рисунок 4.6.2.4. Схема вентиляции взорванного блока

### 4.6.3. Схемы общеобменной вентиляции

При общеобменной вентиляции применяются схемы, обеспечивающие вынос загрязнений из карьера за счет дальнобойности струи.

При последовательной работе установок вынос загрязнений производится через наклонную или вертикальную струю. Она выполняет функцию вентиляционного ствола. Загрязнения к этой струе подаются другими вентиляторами.

При вентиляции одной установкой, она может располагаться на поверхности неглубоких карьеров (рис. 4.6.3.1*а*). На глубоких карьерах установки располагают на бермах для проветривания по рециркуляционной схеме и против направления ветра на поверхности карьера (рис. 4.6.3.1*б*). Для проветривания по прямоточной они располагаются по направлению ветра (рис. 4.6.3.1*в*).

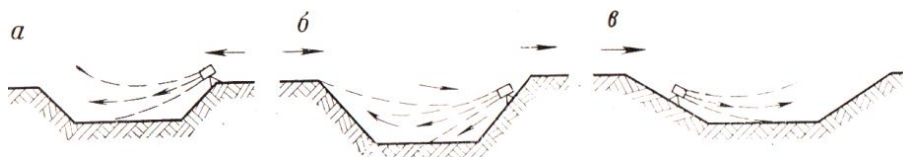


Рисунок 4.6.3.1. Схемы вентиляции карьера вентиляторной установкой

При разработке глубоких, ограниченных в плане карьеров, а также при значительной глубине зоны загрязнения вентиляторная установка располагается на дне карьера (рис. 4.6.3.2).

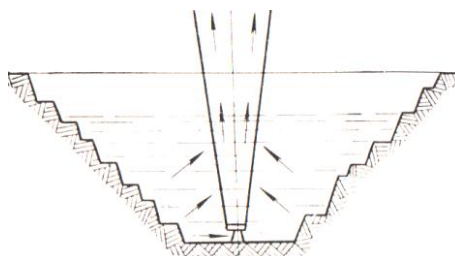


Рисунок 4.6.3.2. Схема проветривания вертикальной струей

Схемы вентиляции несколькими установками применяются при больших объемах зон загрязнения.

Применяют последовательную (каскадную) схему проветривания вытянутых карьеров (рис. 4.6.3.3, 4.6.3.4 и 4.6.3.5).

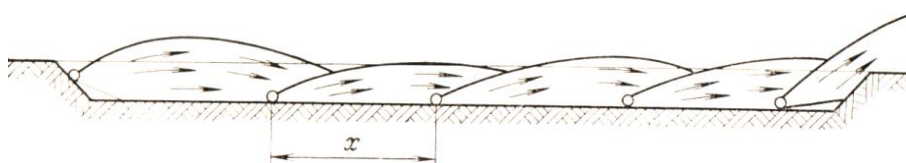
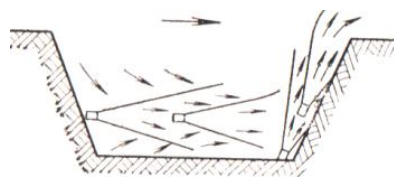
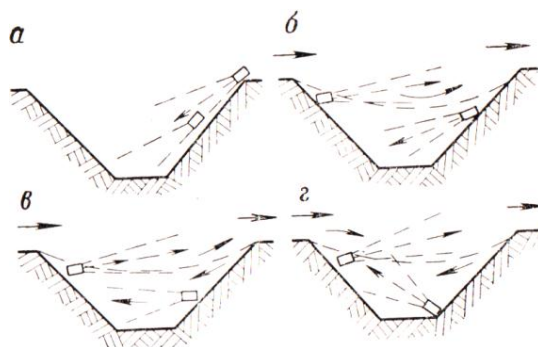


Рисунок 4.6.3.3. Последовательная работа установок



4.6.3.4. Вентиляция глубокого карьера каскадными восходящими струями



4.6.3.5. Схемы вентиляции глубокого карьера последовательно работающими установками

Комбинированная работа установок применяется в случаях, когда последовательная или параллельная их работа недостаточно эффективна (рис. 4.6.3.6 и 4.6.3.7).

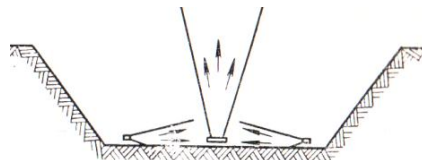


Рисунок 4.6.3.6. Комбинированная схема проветривания горизонтальными и вертикальными струями

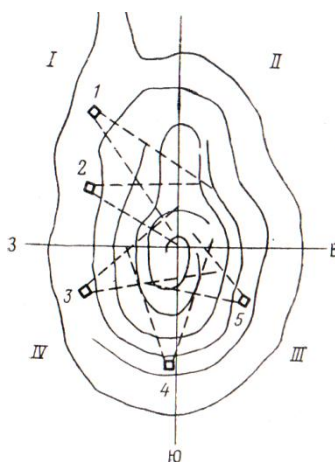


Рисунок 4.6.3.7. Схема веерной работы установок

## Вопросы для самоконтроля

1. В чем заключаются основные условия применения искусственной вентиляции карьеров?
2. Какие известны способы искусственной вентиляции карьеров?
3. За счет чего возможна интенсификация естественного воздухообмена в карьерах?
4. Какие существуют способы искусственной вентиляции рабочей зоны карьера?
5. Какие технические средства существуют для вентиляции карьеров свободными воздушными струями?
6. Какие известны структуры воздушных струй?
7. Какие схемы общей вентиляции карьера свободными воздушными струями возможны для его проветривания?
8. В чем заключаются схемы местной вентиляции карьера свободными воздушными струями?
9. Какие существуют схемы общеобменной вентиляции карьеров?

## 5. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВЕНТИЛЯЦИИ КАРЬЕРОВ

### 5.1. Общие сведения

Технический проект разработки месторождений открытым способом имеет специальный раздел «Проектирование вентиляции карьеров» или же эти вопросы рассматриваются в разделе «Охрана труда и промышленная безопасность».

Раздел состоит из двух основных частей: оценка эффективности естественного проветривания карьеров; проектирование, в случае необходимости, его искусственной вентиляции.

Оценка эффективности естественного проветривания выполняется в следующей последовательности:

1. Анализ исходных данных об атмосферных условиях в карьере: о климате, природных условиях местности и месторождения, технологии и механизации добычи полезного ископаемого.

На этой стадии производится оценка различных вариантов разработки и для дальнейшей оценки принимаются варианты с минимальным загрязнением атмосферы.

2. Оцениваются параметры естественного проветривания карьера для характерных периодов развития горных работ, различных направлений и скорости ветра.

Результатом является выявление условий, при которых естественное проветривание карьера прекращается.

3. Определяется количество вредностей, поступающих в карьер.

4. Для каждого характерного периода развития горных работ определяется загазованность и запыленность атмосферы, определяются периоды когда, возможно, потребуется искусственная вентиляция, а также масштаб ее применения.

Если необходима искусственная вентиляция, начинается ее проектирование, которое ведется в несколько этапов:

1. Определяется возможность интенсификации естественного воздухообмена между внутрикарьерным пространством и атмосферным воздухом на поверхности.

2. Собственно проектирование:

– уточняются периоды времени и масштабы загрязнения атмосферы карьера;

– выбираются вентиляторные установки;

– устанавливаются схемы проветривания;

– производится экономическая оценка искусственной вентиляции карьера.

## 5.2. Оценка природных условий в районе карьера

Основными природными условиями, определяющими естественное проветривание карьера, являются *климат, орфография и растительность района*.

Из климатических факторов важными являются ход скорости и направление ветра, период штилей и инверсий температуры, годовой ход температуры, количество и характер осадков, величина солнечной радиации.

Орфография характеризует форму земной поверхности и, прежде всего, определяет степень закрытости горизонта внешними неровностями рельефа. От закрытости горизонта зависит ослабление ветра над поверхностью карьера. Степень закрытости определяется отношением  $H/L$ , где  $H$  – превышение неровностей над начальной отметкой карьера,  $L$  – расстояние от карьера до неровностей (холмов, гор). Это отношение измеряется в градусах и составляет, например для  $5^\circ$  – 0,1, а для  $15^\circ$  и более – 0,27.

Данные о растительности необходимы для оценки пылеобразования и ослабления ветрового потока на поверхности. Плотный растительный покров и наличие леса уменьшают пылеобразование, но способствуют ослаблению ветра.

## 5.3. Влияние технологии разработки на атмосферу карьеров

При проектировании технологии отработки карьеров учитывают особенности месторождений и прочие природные факторы, а также влияние технологических факторов на атмосферные условия в карьере.

Основными технологическими факторами, определяющими атмосферные условия в карьере, являются *типы месторождений, форма и размеры карьерных полей, фронт горных работ, система разработки и способ вскрытия*.

Тип месторождений (поверхностный, глубинный, нагорный, нагорно-глубинный и подводный) оказывает влияние на проветривание карьера.

Благоприятными в этом плане являются нагорный и поверхностный типы, особенно с горизонтальным или пологим залеганием залежи.

Естественное проветривание глубинных месторождений, а также поверхностных с наклонным и крутым залеганием полезного ископаемого затруднено. С увеличением глубины происходит снижение скорости воздушных потоков и накопление в карьере вредностей.

Проветривание месторождений нагорно-глубинного типа различно при разработке нагорной и глубинной его частей.

Форма и размеры карьерных полей также влияют на проветривание. Форма может быть вытянутой или округлой и изменять направление воздушных потоков в карьере.



Из размеров решающим является отношение длины и ширины карьера к его глубине. В зависимости от этого по степени проветриваемости выделяются следующие группы:

- хорошо проветриваемые (отношение более 10);
- слабопроветриваемые (6-10);
- труднопроветриваемые (менее 6).

При этом основное значение имеют угол откоса борта со стороны направления ветра и размеры карьера по дну.

Важным показателем является глубина карьера. Вертикальная температурная стратификация воздуха в карьере может, как интенсифицировать, так и затруднить воздухообмен.

Известная классификация размеров карьеров разделяет их на весьма малые (площадью до 0,4 км<sup>2</sup> и глубиной до 40 м), средние, крупные и весьма крупные. Трудностей с проветриванием не вызывают только первые. Остальные, особенно глубинного типа, требуют определения возможностей естественного проветривания.

Ряд параметров, характеризующих фронт горных работ, оказывают влияние на загазованность и запыленность воздуха на рабочих местах. Так, направление фронта (вдоль длинной или короткой оси, концентрически, по вееру и различные комбинации) позволяет изменять взаимное расположение и концентрацию оборудования по отношению к направлению воздушных потоков.

Подвигание фронта горных работ (параллельно, радиально, по вееру) также оказывает влияние на формирование воздушных потоков в карьере.

Система разработки определяет и последовательность выемки горной массы на уступах, которая формирует воздушные потоки в забоях. Наиболее сложные условия создаются в траншейных (тупиковых) забоях.

Другая составляющая системы разработки – порядок погрузки горной массы определяет интенсивность пылеобразования при экскавации. Эта интенсивность, например, значительно выше при верхней погрузке горной массы, чем при нижней. Особенно значительна интенсивность пылеобразования при перевалках породы.

Высота уступа, как один из главных элементов системы разработки, ограничивается высотой черпания экскаватора. В противном случае возможно обрушение верхней части уступа и резкое увеличение (в 2-8 раз) запыленности забоя распространение пылевого факела в карьере.

Порядок перемещения горной массы транспортом, т.е. грузопоток на уступе влияет на состояние атмосферы при работе автосамосвалов. Сквозное движение транспорта снижает запыленность воздуха в 2 раза по сравнению с маятниковой подачей транспорта в забой.

Система разработки влияет на проветривание карьера в целом. Опасны по пылевому и газовому факторам системы разработки с переменной рабочей зоной (углубочные, по классификации акад. В. В. Ржевского). А среди них

наиболее опасны с поперечным развитием фронта горных работ. Системы разработки с постоянной рабочей зоной (сплошные) более безопасны.

Состояние атмосферы карьера зависит и от способа вскрытия месторождений. Внешние траншеи, проведенные с учетом господствующих ветров, существенно уменьшают зоны рециркуляции воздуха в карьере даже при крутых углах наклона бортов.

Интенсификация и концентрация горных работ повышают загрязненность зон карьера, в которых они осуществляются.

## 5.4. Определение параметров естественного проветривания карьеров

На этом этапе проектирования определяются схемы естественного проветривания карьеров в различные периоды развития горных работ в следующей последовательности:

1. На весь срок эксплуатации определяются характерные периоды изменения формы карьерной выемки в зависимости от порядка его разработки и с учетом технологии и механизации горных работ, которые могут влиять на эффективность естественного проветривания.

Порядок разработки определяется изменением угленасыщенности месторождения по простиранию и глубине. В соответствии с рациональным порядком разработки, который определяется по минимуму текущего коэффициента вскрыши, форма карьера постоянно изменяется, особенно в случае разработки сложноструктурных месторождений Кузбасса.

2. Для этих периодов строятся планы и характерные профили для основных направлений ветра, чтобы получить пространственную картину движения воздуха в карьере. На рис. 5.4.1 показаны, как пример, четыре профиля карьера в одной вертикальной плоскости для разных периодов отработки и схемы естественного проветривания.

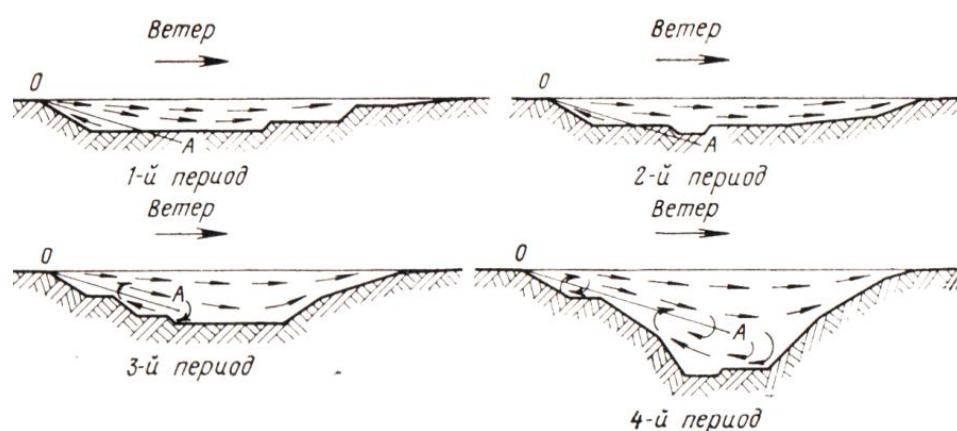


Рисунок 5.4.1. Схемы движения воздуха в карьере на характерном профиле в различные периоды разработки: 1 и 2 – прямоточная; 3 и 4 – рециркуляционная

На рис. 5.4.2 показаны планы основных периодов горных работ в карьере. Стрелка на рисунке обозначает господствующее направление ветра. Штриховая линия – границу зоны рециркуляции. Цифры на рисунках означают глубину горизонтов, а линия II (а – а) – характерный профиль карьера.

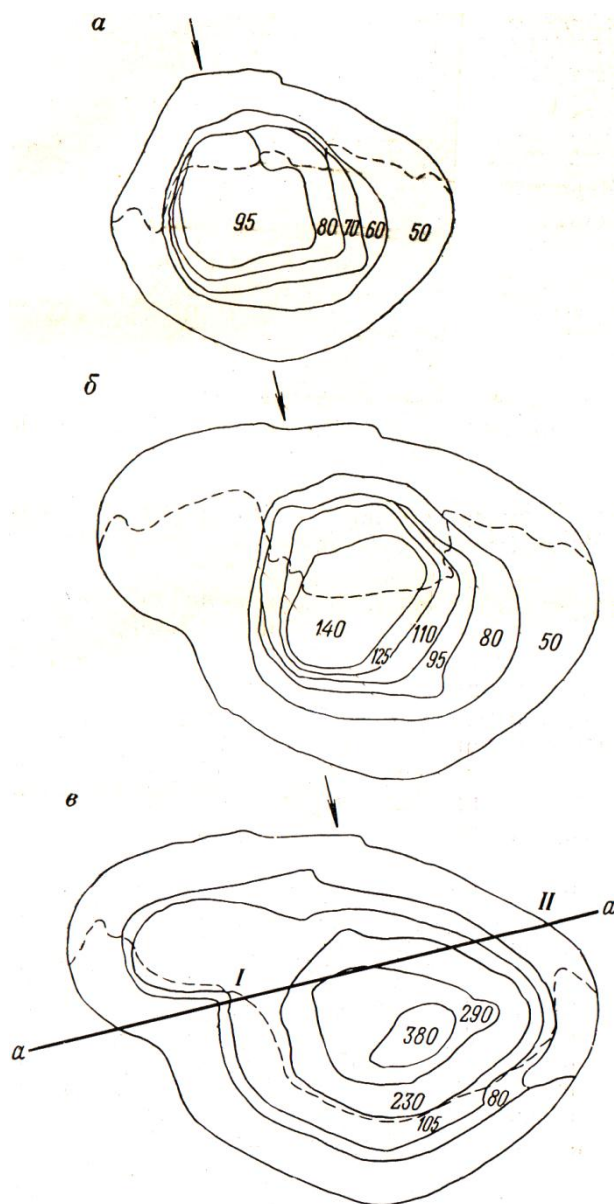


Рисунок 5.4.2. Схемы к определению области рециркуляции воздуха в основные периоды работы карьера

3. Для характерных этапов работы карьера определяются периоды года, в которые преобладают ветровые или термические схемы вентиляции.
4. Для каждого периода года выделяются зоны рециркуляции воздуха в карьере, в которых ожидается повышенное содержание вредных веществ.
5. Рассчитывается расход воздуха для проветривания карьера для всех ветровых схем.

## 5.5. Определение количества и содержания вредностей в атмосфере карьера, необходимого расхода воздуха для проветривания, выбор вентиляторных установок и их числа

Общее количество вредностей, которые поступают в атмосферу карьера, складывается от поступлений из внешних  $G_1$  и внутренних  $G_2$  источников:

$$G_0 = G_1 + G_2.$$

Вредности, поступающие в карьер от внешних источников, расположенных с наветренной стороны карьера, определяются с учетом розы ветров по экспериментально замеряемой с помощью приборов концентрации вредностей  $c_0$  в воздухе, который поступает с поверхности в карьер с расходом  $Q$ :

$$G_1 = c_0 \cdot Q.$$

Расход воздуха, поступающего в карьер с поверхности, зависит от схемы его естественного проветривания.

Для прямоточной схемы:

$$Q_{\text{п}} = 0,171 \cdot u_0 \cdot x = 0,128 \cdot u_{\text{в}} \cdot L_{\text{п}},$$

где  $x = \text{const}$ , любое и находится в пределах  $0 < x \leq L_{\text{п}}$ , где  $L_{\text{п}}$  – длина проекции подветренного борта карьера на горизонтальную плоскость (рис. 3.1.2.2), м;  $u_0$  – известная (заданная) скорость ветра, м/м.

Для рециркуляционной схемы:

$$Q_{\text{р}} = 0,077 \cdot x_{0,\text{ср}} \cdot u_{\text{в}} \cdot L = k \cdot h_{\text{с}} \cdot u_{\text{в}} \cdot L,$$

где  $x_{0,\text{ср}}$  – среднее расстояние  $x_0$  для нескольких характерных профилей карьера, совпадающих с направлением ветра, м;  $L$  – размер карьера на уровне поверхности в направлении, перпендикулярном направлению ветра, м;  $k$  – коэффициент, учитывающий замедление воздушного потока, поступающего к верхней бровке подветренного борта карьера, по экспериментальным данным в среднем  $k = 0,9$ ;  $h_{\text{с}}$  – толщина свободной воздушной струи над верхней бровкой подветренного борта карьера, м.

Величина  $h_{\text{с}}$  замеряется в метрах в натуре или рассчитывается по следующей формуле:

$$h_{\text{с}} = H \cdot \{4,6 / [(\alpha_1 - 20)^2 + 20] + 0,046\},$$

где  $H$  – глубина карьера, м;  $\alpha_1$  – угол наклона подветренного борта карьера (рис. 3.1.3.1), в градусах.

Поступление вредностей от внутренних источников рассчитывается, если известно их число, интенсивность выделения вредностей этими источниками и коэффициент одновременности их работы:

$$G_2 = \sum k_i \cdot g_i \cdot n_i,$$

где  $k_i$  – коэффициент одновременности работы однотипных источников  $n_i$ ;  $g_i$  – интенсивность выделения вредностей при работе одного источника  $i$ -й группы;  $n_i$  – число однотипных источников выделения вредностей в  $i$ -й группе.

Однотипными источниками являются те машины и механизмы, которые при работе выделяют определенное количество специфических, присутствующих им вредностей в единицу времени. Это машины одного и того же конструктивного типа (механические, электрические или гидравлические, дизельные экскаваторы и бурстанки, дизельные автосамосвалы, бульдозеры и другие машины). Данные, входящие в формулу расчета поступления вредностей от внутренних источников, принимаются в соответствии с техническим проектом разреза, техническими паспортами машин или по экспериментальным замерам.

Средняя концентрация вредностей в атмосфере карьера для безветренной погоды в долях единицы определяется по формуле

$$c'_k = G \cdot t / V,$$

где  $G$  – количество вредностей, поступающих в атмосферу карьера в единицу времени;  $t$  – время;  $V$  – объем карьера.

Если проветривание карьера производится ветром, то за время  $dt$  в проветриваемый объем карьера  $V$  поступит количество вредностей  $Gdt$ . За тот же период времени  $dt$  из объема карьера  $V$  потоком воздуха будет удалено вредностей  $c_k \cdot Q' \cdot dt$ , где  $c_k$  – средняя концентрация вредностей в объеме карьера  $V$  в долях единицы;  $Q'$  – расход воздуха через этот объем.

Увеличение количества вредностей за этот период в объеме карьера  $V$  составит  $V \cdot d \cdot c_k$ .

Уравнение баланса вредностей в этом случае будет следующее:

$$G \cdot dt - c_k \cdot Q' \cdot dt = V \cdot dc_k.$$

При начальных условиях  $t = 0$ ,  $c_k = 0$ , интеграл этого уравнения имеет вид:

$$c_k = G \cdot (1 - e^{-Q' \cdot t / V}) / Q',$$

$$Q' = Q_1 \cdot L,$$

где  $Q_1$  – расход воздуха, проветривающего карьер и отнесенного к единице его ширины;  $L$  – средняя ширина карьера в направлении, перпендикулярном к направлению ветра для прямоточной схемы проветривания и средняя ширина зоны рециркуляции в том же направлении для рециркуляционной схемы (рис. 5.4.2в, длина участка I – II прямой  $a - a$ , перпендикулярной к направлению ветра).

По значениям  $c'_k$  и  $Q'$  определяют среднюю концентрацию вредных в атмосфере карьера через время  $t$  после начала их выделения. Если средняя концентрация вредных в атмосфере карьера будет ниже ПДК, то общее состояние атмосферы карьера удовлетворительное, а естественное проветривание эффективно. В тоже время для обеспечения допустимого содержания вредных на рабочих местах их среднее содержание в атмосфере карьера должно составлять одну треть от ПДК, т.е.

$$c_k \leq \text{ПДК} / 3.$$

Если это условие не выполняется, то необходимо применять средства подавления вредных на рабочих местах.

В том случае, если средняя концентрация вредных в атмосфере карьера окажется равной или выше ПДК, состояние атмосферы карьера неудовлетворительное и его естественного проветривания недостаточно эффективно.

Определить время  $t$ , в течении которого концентрация вредных в атмосфере карьера достигнет уровня ПДК, можно если принять в качестве средней концентрации вредных в карьере  $c_d$ , а затем приравнять ее  $c'_k$  и  $c_k$ :  
– для безветренной погоды:

$$t = c_d \cdot V / G;$$

– для проветривания энергией ветра:

$$t = V \cdot \ln(1 - c_d \cdot L \cdot Q_1 / G) / L \cdot Q_1,$$

В этой формуле, если  $(1 - c_d \cdot L \cdot Q_1 / G) > 0$ , то вредности в карьере будут накапливаться, а если это выражение отрицательное, вредности не накапливаются в карьере и уровень ПДК ( $c_d$ ) не будет достигнут за указанный период времени  $t$ .

Формула, определяющая  $c_k$ , дает возможность рассчитать критическую скорость ветра на поверхности карьера  $v_k$ , при которой концентрация вредных в карьере будет выше ПДК. Приравняв значение  $c_k$  допустимой концентрации  $c_d$  и задавая время накопления вредных  $t$  до предельно допустимой концентрации  $c_d$ , определяют значение критического расхода воздуха  $Q_1$ , ниже которого концентрация вредных в карьере будет превышать

ПДК. Затем, определив расход воздуха, проветривающего карьер (по прямой или рециркуляционной схемам), находят значение скорости ветра на поверхности, соответствующего расходу воздуха  $Q'$ . Это значение скорости и будет критической скоростью ветра  $u_k$ .

В случае если время накопления вредностей в карьере до ПДК меньше времени непрерывной работы источников этих вредностей, требуется интенсификация проветривания и дополнительные средства борьбы с поступлением вредностей в атмосферу карьера. В этом случае необходимо повысить эффективность средств борьбы с выделением вредностей в источниках их образования, а если средств борьбы недостаточно, следует интенсифицировать естественное проветривание карьера. Наконец, когда указанные мероприятия не дают должного эффекта, требуется применять искусственную вентиляцию карьера.

Требуемая общая эффективность всех средств подавления вредностей в источниках их образования определяется по следующей формуле:

$$\eta_{то} = (c_k - c_d) / c_k.$$

Если в карьере одновременно работает ряд групп однотипных источников вредностей и фактическая эффективность средств подавления  $i$ -й группы равна  $\eta_{fi}$ , то общая фактическая эффективность будет составлять

$$\eta_{fo} = 1 - \sum (1 - \eta_{fi}).$$

Необходимая степень снижения поступления вредностей в атмосферу карьера рассчитывается по формуле

$$K = (1 - \eta_{то}) / (1 - \eta_{fo}).$$

Повышенная эффективность средств подавления вредностей в группах их источников определится из выражения

$$\eta_{fo} = 1 - \sum (1 - \eta_{fi}).$$

## **5.6. Интенсификация естественного проветривания и мероприятия по оздоровлению атмосферы карьеров**

Интенсификация естественного проветривания карьеров ограничивается орографией района и геологическими условиями залегания месторождения полезного ископаемого, связана с ростом затрат на разработку, поскольку она включает в основном следующие способы:

- улучшение ориентации карьера относительно господствующего ветра;
- уменьшение углов откоса бортов;

– увеличение протяженности карьера в направлении господствующего ветра;

– выбора расположения отвалов и сооружений на поверхности.

В тоже время следует учитывать, что интенсификация естественного проветривания сокращает периоды применения средств искусственной вентиляции карьера. Но задача искусственной вентиляции карьера, в той или иной мере, должна обязательно рассматриваться и решаться в процессе проектирования карьеров в конкретных условиях с учетом преобладающего направления ветра.

Исследованиями, проведенными в Московском горном институте, установлена возможность интенсификации естественного проветривания карьеров с помощью горизонтальных направляющих щитов, располагаемых на некоторой высоте у верхней бровки карьера со стороны его подветренного борта. Щиты изготавливаются передвижными или транспортируемыми, чтобы можно было их перемещать по контуру карьера следуя за направлением ветра. Помогая изменять направление ветрового потока и направлять его вниз в карьерную выемку, они способствуют уменьшению зоны рециркуляции воздуха в атмосфере карьера.

В процессе проектирования карьеров целесообразно также рассматривать возможности применения различных способов и средств для оздоровления атмосферы карьеров, внося, по возможности, необходимые изменения в технологию, механизацию и организацию горных работ:

– применение более экологичных видов транспорта (электровозного, конвейерного, гидравлического);

– использование автосамосвалов, двигатели которых не выделяют или выделяют меньшее количество вредных газов;

– предложение переменной интенсификации горных работ на наветренных бортах карьеров;

– внедрение карьерных фрезерных комбайнов;

– ведение взрывных работ в периоды суток с максимальным воздухообменом в карьере;

– организацию горных работ с временем непрерывной работы источников выделения вредностей меньшим времени накопления вредностей в атмосфере карьеров до уровня ПДК и др.

Проектирование интенсификации естественного проветривания и мероприятий по оздоровлению атмосферы карьеров требует экономической оценки принимаемых решений. Целесообразно сравнивать затраты на интенсификацию естественного проветривания и затраты, связанные с технологией, механизацией и организацией горных работ с затратами на специальные средства борьбы с вредностями, затратами из-за вынужденных простоев карьера при отсутствии мероприятий борьбы с вредностями и интенсификации естественного проветривания, что в конечном итоге и определит принятие решений по оздоровлению атмосферы конкретных карьеров.



## 5.7. Определение периодов и масштабов применения средств искусственной вентиляции в карьерах

Критические значения скорости ветра на поверхности ( $и_к$ ), ниже которых естественный воздухообмен прекращается, а также сведения о годовом и суточном ходе скорости ветра на поверхности являются исходными данными для определения периодов применения средств искусственной вентиляции.

Периоды, когда скорость ветра оказывается ниже критической ( $и_в < и_к$ ), показывают периоды годы или суток, а также их продолжительность, в течение которых потребуется применять искусственную вентиляцию карьеров.

При одинаковой критической скорости ветра для различных его направлений оценку периодов нарушения воздухообмена достаточно производить по графикам годового и суточного хода ветра, усредненным по его направлениям. Если же эти скорости неодинаковы для различных направлений, оценку следует производить по графикам скорости для ее основных направлений. В тоже время, среднестатистические данные о ходе скорости ветра могут отличаться от фактического значения хода в тот или иной период отработки карьера.

Для оценки периодов нарушения воздухообмена в карьере используются и метеорологические данные о продолжительности температурных инверсий и штилях. Применение средств искусственной вентиляции необходимо лишь в случаях, когда продолжительность этих периодов превышает время накопления вредностей в атмосфере карьера до уровня ПДК.

Масштабы применения средств искусственной вентиляции карьеров определяются объемами зон загрязнения, содержание вредностей в которых превышает уровень ПДК.

Объем зон загрязнения зависит от схемы проветривания, скорости ветра на поверхности, количества и расположения источников выделения вредностей, поступающих в карьер.

При прямоточной схеме проветривания и расположении источников выделения вредностей на подветренном борту карьеров загрязняться будет весь его объем, который будет уменьшаться с перемещением источников к наветренному борту.

При рециркуляционной схеме проветривания объем зоны загрязнения принимается равным объему зоны рециркуляции и при определении уровня загрязнения следует учитывать только источники, от которых они поступят в эту зону.

При температурных инверсиях объем зоны загрязнения равен объему внутрикарьерного пространства ниже уровня инверсии.

## 5.8. Определение расхода воздуха для вентиляции карьеров

Расход воздуха для разбавления вредностей, поступающих в атмосферу карьера, до допустимой концентрации, определяется по формуле

$$Q = G / [k \cdot (C_d - C_o)],$$

где **G** – суммарная интенсивность поступления вредностей в атмосферу карьера или количество вредностей в единицу времени от всех источников; **k** – коэффициент эффективности проветривания карьера (**k** < 1 и характеризует перемешивающую способность атмосферы карьера). По данным С. С. Филатова при проветривании карьера по прямоточной схеме **k** = 0,95-0,98 при создании в карьере систем вентиляционных струй, охватывающих весь проветриваемый объем; **k** = 0,8-0,9 при использовании струй перемещающихся в карьерном пространстве; **k** = 0,5-0,6 при фиксированном направлении струй; при естественном проветривании карьера ветровым потокам по рециркуляционной схеме значение коэффициента **k** принимается на порядок меньше; **C<sub>d</sub>** – ПДК вредностей в атмосфере карьера; **C<sub>o</sub>** – концентрация вредностей в поступающем в карьер воздухе.

Расход воздуха для разбавления вредностей, поступающих в атмосферу карьера, до допустимой концентрации, рассчитывается отдельно по выделению пыли и газов. При расчете по пыли **G** рассчитывается как **G<sub>2</sub>** (см. п. 5.5) и выражаться в миллиграммах в секунду (мг/с), **C<sub>d</sub>** – в миллиграммах на кубический метр (мг/м<sup>3</sup>), тогда **Q** будет выражаться в метрах кубических в секунду (м<sup>3</sup>/с).

Интенсивности пылеобразования при работе различных карьерных машин по данным С. С. Филатова приведены в таблице 5.8.1.

Таблица 5.8.1

### Интенсивности пылеобразования при работе различных карьерных машин

№ п/п	Источники пылеобразования	Интенсивность, мг/с
1	Экскаваторы с ковшом, м <sup>3</sup> :	
	до 5 м	150-250
	до 10	200-250
	до 30	300-400
2	Бурстанки:	
	шарошечные	4-5
	огневые	220-250
	пневмоударные	4
3	Карьерные автосамосвалы	150-200
4	Бульдозеры	50-80
5	Самоходные дробилки	100-150
6	Перегрузки и грохота	20-30
7	Грейдеры	50-80

При поступлении в атмосферу карьера только одного, какого либо газа в формуле определения расхода воздуха для разбавления вредностей  $G$  представляет собой суммарную интенсивность выделения в атмосферу данного газа в метрах кубических в секунду ( $\text{м}^3/\text{с}$ );  $C_d$  – ПДК этого газа в воздухе в долях единицы;  $Q$  будет выражаться в метрах кубических в секунду ( $\text{м}^3/\text{с}$ ).

Если в атмосферу карьера поступает смесь нескольких вредных газов, то следует учитывать их различную токсичность и разные ПДК.

Расчет в этом случае заключается в том, что общее количество воздуха для проветривания карьера определяется как сумма частных количеств  $q$ , необходимых для разбавления до ПДК отдельных компонент газовой смеси:

$$Q = (1/k) \cdot \sum q_i,$$

где  $q_i$  – количество отдельного компонента в газовой смеси.

Практика применения искусственной вентиляции на современных крупных карьерах показывает, что для эффективной их вентиляции от вредных газов требуется подача воздуха 15000-20000  $\text{м}^3/\text{с}$  и более; по пылевому фактору – 60000  $\text{м}^3/\text{с}$  и более.

## 5.9. Места расположения вентиляторных установок и схемы вентиляции

На рисунке 5.9.1 приведены типовые схемы искусственной вентиляции карьеров, разработанные С. С. Филатовым, а также схемы установки вентиляторов и направление вентиляционных струй.

При выборе схем вентиляции учитываются направление и скорость ветра на поверхности. Вентиляторные установки должны работать по направлению ветра или под небольшими углами к нему. Угол между направлением ветра и вентиляционной струей не должен превышать  $120^\circ$ .

При параллельной работе нескольких стационарных вентиляторных установок, создающих горизонтальные или наклонные струи для проветривания загрязненной зоны определяется по формуле

$$n = B / (k' \cdot b),$$

где  $B$  – ширина загрязненной зоны в плоскости, перпендикулярной к действию вентиляционных струй, м;  $k'$  – коэффициент, учитывающий зону действия струи в пределах проветриваемого участка. В соответствии с рекомендациями В. С. Никитина и Н. З. Битлокова этот коэффициент следует принимать: при работе одной вентиляторной установки  $k' = 2$ ; для двух струй 1,6; для трех и более 1,3-1,2;  $b$  – ширина вентиляционной струи на границе загрязненной зоны, м, определяется по формуле

$$b = 6,8 \cdot a \cdot L + d_0,$$

где  $L$  – расстояние от вентиляторной установки до границы загрязненной зоны, м;  $a$  – коэффициент структуры турбулентной струи (0,07-0,08);  $d_0$  – начальный диаметр струи, м.

Схема вентиляции	Схема установки вентиляторов	Направление вентиляционных струй
	Одиночная на борту карьера	Наклонное
	Одиночная на дне карьера	Вертикальное
	Параллельная	Перпендикулярно к длинной оси карьера
	Последовательная	Горизонтальное, наклонное
	То же	Горизонтальное, наклонное, вертикальное
	Параллельно-последовательная	Горизонтальное, наклонное
	То же	Горизонтальное, наклонное, вертикальное

Рисунок 5.9.1. Схемы к расчету вентиляторных установок

При работе одной вентиляторной установки:  $b = B / 2$ .

При последовательной или каскадной работе необходимое число вентиляторных установок определяется по формуле:

$$n_k = L_k / l,$$

где  $L_k$  – расстояние от первой вентиляторной установки до конечного сечения струи последней установки (длина каскада), м;  $l$  – рабочая дальность струи одной вентиляторной установки, м.

### 5.10. Оценка эффективности применения искусственной вентиляции

Оценка эффективности вентиляции производится по времени, затрачиваемому вентиляторными установками на его проветривание:

$$t = G_o / G_v,$$

где  $G_o$  – количество вредностей, которое следует удалить из карьера;  $G_v$  – количество вредностей, выносимых их карьера системой вентиляции.

Количество вредностей, подлежащих удалению из карьера:

$$G_o = V_k \cdot (C_d - C_{oc}),$$

где  $V_k$  – объем карьера;  $C_d$  – допустимая концентрация вредностей (ПДК);  $C_{oc}$  – остаточная концентрация вредностей в карьере после проветривания ( $C_{oc} = C_d/3$ ).

Количество вредностей, выносимое из карьера системой вентиляции

$$G_v = Q_v \cdot k \cdot (C_d - C_o) - (G_o - G_v),$$

где  $Q_v$  – расход воздуха на выходе из карьера;  $k$  – коэффициент эффективности схемы вентиляции;  $C_o$  – концентрация вредностей в воздухе, поступающем в карьер;  $G_v$  – интенсивность выделения вредностей от источников, омываемых вентиляционным потоком.

Время однократного обмена воздуха в карьере при штиле

$$t = V / \{131q_o \cdot [(a \cdot h_3/d_o) + 0,29]\},$$

где  $V$  – объем зоны загрязнения;  $q_o$  – начальный дебит струи;  $h_3$  – высота уровня загрязнения от дна карьера;  $d_o$  – начальный диаметр струи.

### 5.11. Оценка экономической эффективности искусственной вентиляции

При оценке экономической эффективности искусственной вентиляции карьеров возможны две основные задачи:

1. Установление допустимой продолжительности простоев оборудования в карьере из-за загрязнения атмосферы.

2. Определение допустимых затрат при определении искусственной вентиляции.

Для решения первой составляется целевая экономико-математическая функция, минимизирующая годовой ущерб предприятия от простоев карьерного оборудования из-за запыленности и загазованности атмосферы:

$$C_y = C_{\text{п}} + C_{\text{ив}} \rightarrow \min,$$

где  $C_{\text{п}}$  – ущерб от простоев оборудования, руб./год;  $C_{\text{ив}}$  – затраты на искусственную вентиляцию, руб./год.

Ущерб от простоев оборудования суммируется по всем простаивающим машинам комплекса (бурстанкам, экскаваторам, транспорта, вспомогательного оборудования) и для каждого вида оборудования определяется как сумма составляющих ущерба однотипных машин.

Что касается решения второй задачи, то затраты на искусственную вентиляцию всегда должны быть меньше, чем возможные потери от простоев оборудования:

$$C_{\text{ив}} < C_{\text{п}}.$$

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Какие существуют положения о проектировании вентиляции карьеров?
2. Как производится оценка природных условий в районе карьера?
3. Каким образом влияет технология разработки на атмосферу карьеров?
4. Как определяются параметры естественного проветривания карьеров?
5. В чем заключается порядок расчета количества и содержания вредных веществ в атмосфере карьера?
6. Как производится расчет требуемого расхода воздуха для проветривания карьера, выбор вентиляторных установок и определение их числа?
7. Какие существуют способы интенсификации естественного проветривания и мероприятия по оздоровлению атмосферы карьеров?
8. Как определяются периоды и масштабов применения средств искусственной вентиляции в карьерах?
9. Каким образом устанавливаются места расположения вентиляторных установок и выбираются схемы вентиляции карьеров?
10. Как оцениваются эффективность применения искусственной вентиляции по оздоровлению атмосферы карьера?
11. Как определяется экономическая эффективность применения искусственной вентиляции в карьере?

## **6. ПЫЛЕВЕНТИЛЯЦИОННАЯ СЛУЖБА И КОНТРОЛЬ СОСТОЯНИЯ АТМОСФЕРЫ КАРЬЕРОВ**

### **6.1. Организация пылевентиляционной службы (ПВС)**

Направлением деятельности службы ПВС является создание нормальных санитарно-гигиенических условий на рабочих местах. Для этого службой решаются следующие задачи:

1. Контроль атмосферы карьера и на рабочих местах.
2. Контроль эффективности проветривания различных зон карьера.
3. Составление плана мероприятий по улучшению санитарно-гигиенических условий труда в карьере.
4. Контроль выполнения этого плана.
5. Контроль за состоянием вентиляционного и пылегазоподавляющего оборудования.
6. Контроль за состоянием этого оборудования, его ремонтом и приобретением.
7. Составление прогнозов состояния атмосферы.
8. Проведение инструктажа по борьбе с пылью и вредными газами.
9. Отчетность и внедрение мероприятий по борьбе с пылью и вредными газами.

ПВС подчиняется главному инженеру и наделена следующими правами:

1. Приостанавливать производство работ на рабочих местах, где выявлены нарушения нормальных условий труда.
2. Запрещать применение машин и механизмов, ухудшающих санитарно-гигиенические условия труда.
3. Привлекать к ответственности должностных лиц, систематически нарушающих газопылевентиляционный режим.

ПВС оснащается необходимым оборудованием для контроля состояния атмосферы, замеров ее запыленности и загазованности, метеорологическими приборами.

Роль централизованных лабораторий в отдельных случаях выполняют лаборатории санэпидемстанций и отряды горноспасателей, которые производят в карьерах отбор проб воздуха на запыленность и загазованность.

### **6.2. Приборы и методы контроля состояния атмосферы карьеров**

*Скорость воздушных потоков* измеряется анемометрами: крыльчатый (от 0,15 до 5 м/с); чашечный (до 20 м/с), индукционным (до 30 м/с). Современные анемометры представлены как отечественными (модель Актаком), так и зарубежными производителями (КИМО – Франция, TESTO – Германия и др.) и показаны на рисунке 6.2.1.

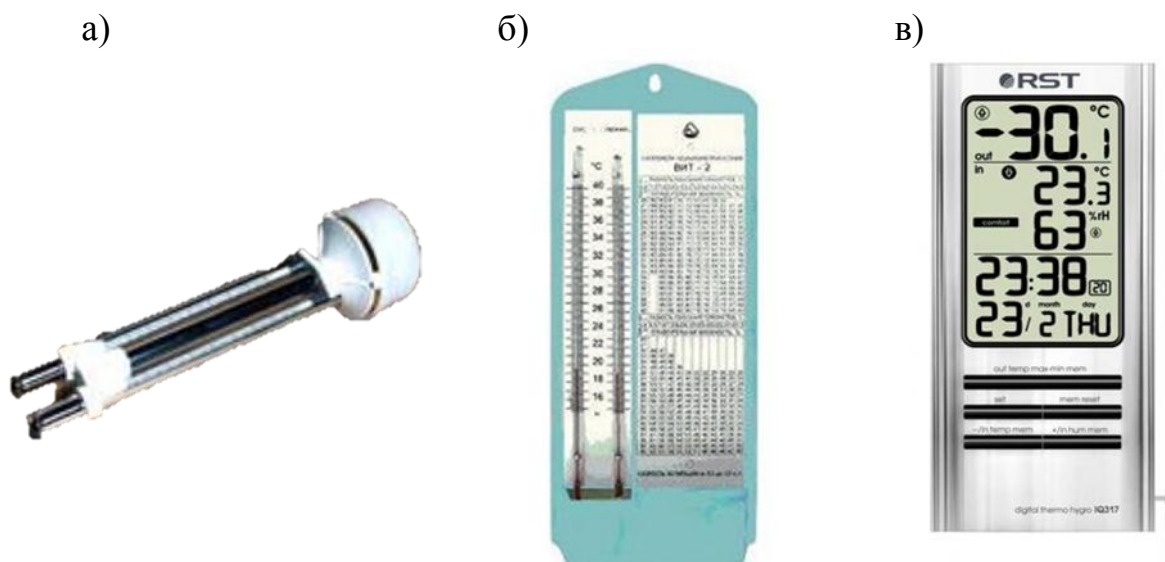


Рисунок 6.2.1. Современные анемометры: а) модель Актаком, б) модель КИМО

*Направление воздушных потоков* измеряется флюгаркой или матерчатый вымпелом совместно с компасом.

Скорость и направление воздушных потоков измеряется на расстоянии 2 м от земли (в потоке воздуха рабочей зоны).

*Влажность воздуха* замеряется пращевыми и аспирационными психометрами, парными термометрами, гигрометрами и гигрографами. Наиболее распространены в карьерах аспирационные психометры и волосяные гигрометры со шкалой влажности в процентах (рис. 6.2.2).



6.2.2. Психометры: а) аспирационного типа, б) парный термометр, в) электронного типа

Аспирационный психометр имеет 2 термометра: сухой и влажный, смоченный водой с помощью батистовой тряпочки. Относительная влаж-



ность воздуха определяется по таблицам по разности показаний сухого и влажного термометров.

*Температура воздуха* в карьере замеряется различного типа термометрами (жидкостными, деформационными, полупроводниковыми и др.), а также радиозондами. Современные анемометры и электронные психометры также замеряют ее.

*Атмосферное давление* замеряется ртутными и деформационными барометрами, барографами (для большей точности).

*Для замеров давления и скорости* движения воздуха при работе вентиляторов, пылеуловителей, кондиционеров и других установок используются пневмометрические трубки совместно с манометрами и пневмоманометрами.

Трубка состоит из приемной, соединительной и подсоединительной частей. Приемная трубка воспринимает полный напор.

По внешней части приемной трубки сделаны щелевые каналы перпендикулярно к направлению воздушного потока. Эти каналы воспринимают статический напор, который передается в соединительную трубку. Обе трубки выводятся в подсоединительную часть к манометрам (определяют фактическое давление) или к микроманометрам, которые показывают скорость движения воздуха.

*Для замеров давления и скорости* движения воздуха в карьере и на его поверхности также используются электронные приборы (рис. 6.2.3).



Рисунок 6.2.3. Современные дифференциальные электронные пневмотрубки-манометры

*Метеорологические параметры* атмосферы карьеров можно контролировать дистанционными метеостанциями.

*Запыленность воздуха* определяется с помощью весового метода: запыленный воздух засасывается в прибор через фильтр и определяется масса осевшей на фильтре пыли, отнесенная на 1 м<sup>3</sup> воздуха.

В настоящее время применяется радиоизотопный измеритель загрязненности «Приз», лазерные зонды, электронные измерители (рис. 6.2.4)

а)



б)



6.2.4. Современные электронные измерители запыленности воздуха:  
а) полустационарные, б) носимые

*Загазованность воздуха* определяется или непосредственно на рабочих местах или по отобранным пробам в лаборатории.

На рабочих местах загазованность определяется с помощью различных газоанализаторов (рис. 6.2.5.), как для двух-трех вредных газов, так и для 10-16.

а)



б)



в)



(044) 585 71 45

Рисунок 6.2.5. Современные электронные измерители загазованности воздуха: а) носимые, б) стационарные, в) полустационарные

Пробы воздуха могут отбираться резиновыми камерами и исследоваться в специальной лаборатории. Имеются также передвижные газоаналитические лаборатории «Карьер».

### Вопросы для самоконтроля

1. Организация пылевентиляционной службы карьера, направление ее деятельности и основные задачи?
2. Приборы и методы контроля состояния атмосферы карьеров для измерения:
  - скорости воздушных потоков?
  - направления воздушных потоков?
  - влажности воздуха?
  - температуры воздуха?
  - атмосферного давления и скорости движения воздуха при работе вентиляторов, пылеуловителей, кондиционеров и других установок?
  - давления и скорости движения воздуха в карьере и на его поверхности?
  - метеорологических параметров?
  - запыленности воздуха?
  - загазованности воздуха?

## РЕКОМЕНДУЕМЫЙ СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бересневич, П. В. Охрана окружающей среды при эксплуатации хвостохранилищ / П. В. Бересневич, П. К. Кузьменко, Н. Г. Неженцева. – М.: Недра, 1993.
2. Битколов, Н. З. Аэрология карьеров: учебник для вузов / Н. З. Битколов, И. И. Медведев. – М.: Недра, 1992.
3. Бересневич, П. В. Аэрология карьеров: справочник / П. В. Бересневич, В. А. Михайлов, С. С. Филатов. – М.: Недра, 1990.
4. Ушаков, К. З. Аэрология карьеров: учебник для вузов / К. З. Ушаков, В. А. Михайлов. – М.: Недра, 1985.
5. Никитин, В. С. Проветривание карьеров / В. С. Никитин, Н. З. Битколов. – М.: Недра, 1975.
6. Методика расчета вредных выбросов (сбросов) для комплекса оборудования открытых горных работ (на основе удельных показателей); ННЦ Горного производства, ИГД им. А. А. Скочинского. – Люберцы, 1999.
7. Галанин, А. Ф. Расчет проветривания карьеров: метод. указания к практическим занятиям специальности 090500 (ГО) / А. Ф. Галанин, М. В. Шенкевич; КузГТУ. – Кемерово, 2005.
8. Мартьянов, В. Л. Расчет проветривания карьеров: метод. указания к практическим занятиям специальности 130403 (ГО); КузГТУ. – Кемерово, 2012.
9. Мартьянов, В. Л. Аэрология карьеров: учеб. пособие специальности 280102 (ГБ), 130400 (ГО); КузГТУ. – Кемерово, 2012.