

**МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА  
ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ  
ПО ТЕХНОЛОГИЯМ ТРАНСПОРТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА**

**РЕКОМЕНДАЦИИ  
ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ, МОНТАЖУ  
И ЭКСПЛУАТАЦИИ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ  
ПРИ СООРУЖЕНИИ ТОННЕЛЕЙ**

*Москва 1983*

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА  
ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ  
ТРАНСПОРТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

УТВЕРЖДАЮ  
Зам. директора института  
М. В Смирнов  
18 апреля 1983 г

РЕКОМЕНДАЦИИ  
ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ, МОНТАЖУ  
И ЭКСПЛУАТАЦИИ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ  
ПРИ СООРУЖЕНИИ ТОННЕЛЕЙ

Одобрены Гластоннельметростроем

Москва 1983

УДК 624.191.94(083.75)

© Всесоюзный научно-исследовательский институт  
транспортного строительства, 1985

## ПРЕДИСЛОВИЕ.

Настоящие Рекомендации предназначены для проектных и производственных организаций. В соответствии с ними они осуществляют системы газоизменение материалов по вентиляции подземных выработок сооружений тоннелей; методику расчетов вентиляции по взаимосвязи уравнения; в приложениях даны примеры.

В основу Рекомендаций положены результаты научно-исследовательских работ ЦНИИСа, сплошные данные специального характера, а также некоторые материалы опыта устройства и эксплуатации рудничной вентиляции и проветривания выработок гидротехнических тоннелей, разработанные применительно к специфике строительства транспортных тоннелей; включена некоторая часть положений ранее публиковавшихся работ ЦНИИСа [1,2].

Ряд предлагаемых в Рекомендациях способов вентиляции и ее расчетов используется СКБ Глевтоннельмэстрострой при разработке [3].

Рекомендации разработаны канд.техн.наук А.И.Листов, инженеры А.Б.Скворцовская, М.В.Иевлев, И.К.Юсев.

Замечания и предложения просим прсылать по адресу: 129329  
Москва, ул.Кольская, д.1, ЦНИИС.

Зав.отделением транспортных  
зданий

К.И.Хабибуллин

## I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

I.1. Настоящие Рекомендации распространяются на объекты сооружения горных транспортных тоннелей, проектирование и строительство которых ведется подразделениями Уинтрансстроя.

Рекомендации не охватывают вопросов вентиляции монтажоподготовочных выработок, проходка которых должна вестись согласно требованиям [4].

I.2. По своему материалам и их содержанию Рекомендации указывают, что устройство систем вентиляции тоннельных выработок, их эксплуатации, а также технологические процессы строительства, уликающие по составу и температуре воздуха, как правило, ведутся по проектом, но не исключается вероятность принятия оперативных решений и их реализация строительными подразделениями при условии последующего обязательного согласования с проектной организацией.

I.3. В Рекомендациях отражены следующие специфические условия строительства тоннелей из ГЛМ:

низкие температуры наружного воздуха в зимнее время;  
длительный период с отрицательными температурами наружного воздуха;

небольшие заморозки пород;  
возможность высоких температур породного массива в зоне проходки тоннелей;

большая длина глухих участков тоннельных выработок;  
применение при строительстве нового, в том числе импортного оборудования.

I.4. При изготовлении элементов, монтаже и эксплуатации вентиляционных систем следует уделять особое внимание их качеству, для чего рекомендуется в проектах предусматривать соответствующее устройство по определению показателей качества.

I.5. Выбор системы вентиляции целесообразно вести на стадии рассмотрения вариантов организации и способов производства работ по сооружению тоннеля, оценивая рациональность решений комплексно.

При этом должны учитываться:  
вероятность получения требуемых характеристик воздушной среды в тоннельных выработках;  
итоговая, т.е. общая для всего комплекса строительно-монтажных работ, степень экономичности;

возможность и рациональность использования комбинированных способов улучшения воздушной среды.

1.6. Следует различать санитарно-гигиенические и технологические требования к воздушной среде.

Санитарно - гигиенические требования подразделяются на требования к составу воздуха в рабочей зоне и метеорологические условия для различных мест этой зоны.

Предельно допустимые концентрации (ПДК) газовых примесей и взвесей в воздухе рабочей зоны предполагают принимать по ГОСТ 12.1.005-76 "Воздух рабочей зоны. Общие санитарно-гигиенические требования".<sup>1</sup>

Характеристики наиболее распространенных в практике тоннелеотрочения вредных веществ даны в приложениях 1 и 2.

Значения допустимых величин метеорологических параметров воздушной среды в тоннельных выработках приведены в [5], дополненные данными по оптимальным величинам метеорологических параметров - в приложении 3.

Технологические требования включают условия, необходимые для короткого протекания технологических процессов, а также пожаро- и взрывобезопасности.

К ним относятся:

а) скорость движения воздуха в любом месте тоннельной выработки должна быть не менее 0,1 м/с (для обеспечения эффективной работы вентиляции);

б) температура воздуха на отдельных участках должна соответствовать требованиям твердения бетона, бесперебойности водоотвода, сохранения мерзлого состояния породы и т.п., в случае противоречия требований гигиенической технологии отступления от первых необходимо согласовывать с органами санитарного надзора;

в) влажность воздуха - не более 90 % (с точки зрения обеспечения видимости в выработках).

1.7. До разработки проекта вентиляции объекта, а также в процессе строительства тоннеля целесообразно рассмотреть возможност

<sup>1</sup> Величины ПДК для углекислого газа  $\text{CO}_2$  и минимально допустимое содержание кислорода  $\text{O}_2$  государственный стандартом не регламентированы; их значения приведены в [2].

применении различных средств улучшения воздушной среды, к которым (кроме вентиляции) следует отнести:

способы снижения выделений вредных веществ;

изменение интенсивности выделений во времени;

использование средств поглощения вредных веществ и их локализация;

теплозащита.

Характеристики некоторых из перечисленных средств приведены в следующей главе настоящих Рекомендаций.

## 2. ОСНОВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ВЫДЕЛЕНИЯ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ

### Базы при разработке породы в забоях

2.1. Основными вредными веществами, выделяющимися при взрывании породы являются:

окись углерода;

азотокись углерода;

окислы серы;

пыль.

2.2. Все выделяющиеся газы обычно приводятся по токсическому действию к окиси углероду, причем для грубых подсчетов считается, что 1 кг взрывчатых веществ (ВВ) выделяют 40 л условной окиси углерода (50 г).

Руководство по проектированию и организации проветривания шахт [6], выпускавшееся ВНИИОМШС, дает более конкретные значения газоности ВВ (табл. I).

Т а б л и ц а I

Условия увлажнения	Расчетные значения газоности, л/кг, при коэффициенте крепости пород по И. Ч. Протодьяконову							
	4	6	8	10	12	14	16	18
Без учета влияния орошения	40	35	30	30	40	55	60	65
С учетом влияния об- водненности или ис- кусственного орошения	10	15	20	30	40	50	60	65

**2.3.** Учитывая, что крепость пород оказывает существенное влияние на газовость ВВ, в токи трудности увеличения производительности вентиляции в процессе строительства, можно рекомендовать для расчетов брать величину газовости 40 л/кг до значения коэффициента Протодьяконова, разного 12, и по табл. I для более высоких его значений.

Обводненность забоя или искусственное орошение не стадии разработки проекта учитывать не рекомендуется, так как эффект этих факторов в большой степени зависит от конкретных условий строительства, которые не могут быть известны заранее.

Однако этот эффект может быть весьма значительным, и поэтому при отработке лесопорта бурозрывных работ есть все основания для опробования и применения различных способов орошения забоя.

Недо иметь в виду, что некоторое увеличение производительности вентиляции, которое получиться от условности принятия газовости ВВ, совершенно не означает перерасхода сработы, так как оно будет компенсироваться сокращением времени прорезывания забоя.

**2.4.** Зона загазирования выработки (длина зоны отброса газов) при взрыве  $l_r$ , м, определяется по формуле

$$l_r = 2H \frac{A}{\rho_r l_{\text{шт}} \sqrt{F_{\text{взр}}}}, \quad (1)$$

где  $A$  - количество взрываемого вещества, кг;

$\rho_r$  - плотность породы в естественном состоянии, г/м<sup>3</sup>;

$l_{\text{шт}}$  - длина штreta, м;

$F_{\text{взр}}$  - площадь поперечного сечения выработки, м<sup>2</sup>.

Трекопортные машины с двигателями внутреннего горения

**2.5.** Для работы в подземных выработках из всех машин с двигателями внутреннего горения допускается только дизельные, обогревающиеся нейтрализаторами отходящих газов.

Правила [5] регламентируют состав и расход выхлопных газов до газоочистки (не более 24 г/ч условной окиси углерода из 1 л.с. номинальной мощности) и после газоочистки (не более 100 величины предельно допустимой концентрации окиси углерода и не более 6 м<sup>3</sup>/мин. сухого воздуха на 1 л.с. для разбавления газов до санитарной нормы).

**2.6.** Применение требований определяют макеты, имеющие расчлененные характеристики выделений отработанных газов для льных двигателей?

такой же I д.с. начинальной мощности:

расход газов для машин, м <sup>3</sup> /с	
грузовых	..... 0,001
пассажирских	..... 0,0008
концентрации условной окиси углерода для машин, мг/м <sup>3</sup>	
грузовых	..... 2000
пассажирских	..... 1600

2.7. Количество тепла, выделяемое машинами с двигателями внутреннего сгорания, может подсчитываться по расходу топлива  $G$ ,

$$Q_m = 0,7 Q_d'' G, \quad (2)$$

где  $Q_d''$  - изовая теплотворная способность топлива.

#### Сварочные работы

2.8. Основными вредными веществами, выделяющимися в воздухе при электродуговой сварке, являются вспомогательные вещества.

Значение предельно допустимой концентрации сварочных вредностей дано в приложении 2.

Величины интенсивности выделений этих веществ в зависимости от марок электродов, силы тока и вида операций приведены в приложении 4. Здесь же помещены коэффициенты неравномерности сварки  $K_n$ , необходимые для расчета воздухообмена.

2.9. Значение выделения тепла у единого сварочного поста может определяться

$$Q_{cf} = J b k_n J B r (Q_d - J / K_n J k m l / z), \quad (3)$$

где  $J$  - сила тока, А.

2.10. Газовая сварка применяется редко и образующиеся при ней вредные вещества ( $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ , углеводороды) могут не учитываться в общем газовом балансе.

#### Бурение шпуров и скважин

2.11. Основным видом выделяемых при бурении шпуров вредных веществ является пыль, ее характеристики приведены в приложении 2.

Интенсивность выделения пыли при бурении шпуров с промывкой согласно [7] может определяться по формуле

$$A_p = A_{bp} V_{bp} d_{sh}^2 f_c K_1 K_2 K_3, \quad (4)$$

где  $A_p$  - интенсивность пылепоступления, мг/с;

$\Delta_s$  - коэффициент размерности, определяемый по табл.2;

$f$  - коэффициент крепости породы;

$V_{\text{бр}}$  - скорость бурения, мм/мин;

$d_{\text{шп}}$  - диаметр шпуре, мм;

$\gamma_r$  - плотность грунта, т/м<sup>3</sup>;

$\kappa_1$  - коэффициент возрастания интенсивности пылевыделения при одновременной работе нескольких близко расположенных (ближе 3 м) перфораторов. Для одной машины  $\kappa_1 = 1$ ; для двух 1,7; трех 2,3; четырех 2,7. Для буровых кереток  $\kappa_1$  определяется по табл.3;

$\kappa_2$  - коэффициент, учитывающий неправильность шпуре. При бурении востребующих шпуров  $\kappa_2 = 1,3$ ; горизонтальных 1,0 и нисходящих 0,7;

$\kappa_3$  - коэффициент, учитывающий вес бурильной машины. Для ручных перфораторов (18-25 кг)  $\kappa_3 = 1,3$ ; тяжелых ручных (25-45 кг) 1,0; легких колонковых (46-60 кг) 0,7 и тяжелых колонковых (более 60 кг) 0,5.

2.12. Кроме определенного по формуле (4), следует учитывать дополнительное пылепоступление, обусловленное действием вентиляционного потока. При средней скорости вентиляционного потока

$u_{\text{вп}} = 0,1-1,0 \text{ м/с}$  дополнительное поступление пыли изменяется от 10 до 52 %.

Таблица 2

№/п	Способ и режим бурения	Коэффициент размерности $\Delta_s$
1	При нормализованном бурении с боковой промывкой чистой водой	$155 \cdot 10^{-8}$
2	То же, но с пылемаскирующими добавками	$93 \cdot 10^{-8}$
3	При нормализованном бурении с боковой промывкой чистой водой	$93 \cdot 10^{-8}$
4	То же, но с добавкой смачивателей пыли	$57 \cdot 10^{-8}$
5	При вращательном бурении с промывкой чистой водой	$16 \cdot 10^{-8}$
6	При ударно-вращательном бурении с промывкой скважин водовоздушной смесью	$10 \cdot 10^{-8}$

Примечание. Для быстроударных перфораторов значение  $\Delta_s$  можно принимать равным  $512 \cdot 10^{-6}$ .

Таблица 3

Буровая каретка СБУ-2		Буровая каретка "Клавиакс"	
Количество	$\kappa_4$	Количество	$\kappa_1$
1	1,0	1	1,0
2	1,4	2	1,7
-	-	3	2,4
-	-	4	3,2

2.13. Интенсивность поступления пыли при бурении с сухим пылеулавливанием подсчитывается по формуле

$$A_p = 4,7 \cdot 10^{-6} U_{dry} \alpha^2 \gamma_n f \kappa_1 \kappa_2 \kappa_3 \beta_n . \quad (5)$$

где  $\kappa_4$  - коэффициент, учитывающий влияние обводненности бурильных пород. При бурении по сухим породам  $\kappa_4=1$ ; при обводненных  $\kappa_4=0,1$ ; при средней обводненности  $\kappa_4=0,5$ ;

$\beta_n$  - коэффициент, учитывающий эффективность пылеулавливающих устройств  $\beta_n = 1,00 - 0,61 \eta_n$ , ( $\eta_n$  - КПД пылеуловителя, %).

Для операторов с хорошими пылеулавливанием  $\beta_n$  может быть принят от 0,01 до 0,001 (большое значение относится к бурению шпуров малого диаметра, а меньшее - к бурению скважин большого диаметра). Значения остальных величин, входящих в формулу (5), те же, что и для формулы (4).

#### Погрузка породы

2.14. Интенсивность поступления пыли при погрузке породы  $A_{pc}$ ,  $\text{мг/с}$ , согласно [7] определяется по формуле

$$A_{pc} = \delta_n \cdot G_n \rho_n . \quad (6)$$

где  $\delta_n$  - коэффициент, учитывающий размерность входящих величин, эффективность орошения и пылеомеханизаций добавок. При сухой породе  $\delta_n = 0,28$ , при обильном орошении массы перед погрузкой чистой водой  $\delta_n = 0,014$ , а при орошении водой со смачивающими добавками  $\delta_n = 0,009$ ;

$G_n$  - часовая производительность механизма,  $\text{т/ч}$ ;

$\rho_n$  - удельное пылевидение,  $\text{г/т}$ , определяется по табл.4.

Таблица 4

№/п	Погрузочные работы	Удельное пылевыделение $\mu$ , г/т
1	Погрузка машинами с шаграбочими лопастями	6,7-22
2	Ручная погрузка или перекидка горной массы	10-15
3	Скреперование	5-7
4	Погрузка машинами типа ПМЛ или ЭПМ	7-9
5	Погрузка экскаватором с ковшом ёмкостью 1 м <sup>3</sup>	3-5

П р и м е ч а н и е . Меньшие значения  $\mu$  относятся к крупнокусковой породе.

### 3. ВЕНТИЛЯЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И РАСЧЕТ ИХ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ

#### Вентиляция после взрывов

3.1. Вентиляция глухих забоев после взрывов можно осуществлять приточными, вытяжными и комбинированными системами.

3.2. Производительность приточной системы  $L_{ap}$ , м<sup>3</sup>/с, определяется

$$L_{ap} = \frac{4/\ell_{ap} F_{ap}}{\tau} \lg \left( a \frac{\ell_{ap} \chi_a}{\sqrt{F_{ap}}} \right), \quad (7)$$

где  $\ell_{ap}$  - максимально допустимое расстояние отреза приточного воздуховода от плоскости забоя (после взрыва), и определяется по формуле

$$\ell_{ap} = 10.7 \sqrt{F_{ap}} \sqrt{\frac{F_{re}}{F_{ap}}}, \quad (8)$$

или подбирается по табл.5.

В формулах (7) и (8)  $F_{ap}$  и  $F_{re}$  - соответственно площади поперечного сечения тоннельной выработки в проходке и приточной трубы, м<sup>2</sup>;

$a$  - численный коэффициент, равный 25 и 50 соответственно для  $F_{ap}$  от 12 до 40 м<sup>2</sup> и от 41 до 95 м<sup>2</sup>;

$\tau$  - время проветривания забоя, обычно принимается равным 1800 с, но подлежит обязательному уточнению в натуральных условиях при составлении паспорта буре-заряжочных работ.

Т а б л и ц а 5

Диаметр воздуховода, м	Максимально допустимое расстояние среза приточных труб от забоя $\frac{L}{\rho}$ , м, при плохости попечного сечения выработки $F_{\text{пр}}$ , м <sup>2</sup>									
	12	16	20	25	30	40	50	65	80	95
0,5	16,5	17,5	18,0	19,0	-	-	-	-	-	-
0,6	18,5	19,5	20,0	21,0	22,0	23,0	24,0	25,0	25,0	26,0
0,8	-	23,0	24,0	25,0	26,0	27,0	28,0	29,0	31,0	32,0
1,0	-	-	-	-	30,0	32,0	33,0	35,0	36,0	37,0
1,2	-	-	-	-	34,0	36,0	37,0	39,0	40,0	42,0
1,5	-	-	-	-	-	-	-	43,0	45,0	46,0

3.3. Расход воздуха, отделяемого из забоя воздуховодом вытяжной системы, принимается большим  $L_{\text{нр}}$  на 10–20 %.

Вытяжные системы тупиковых забоев не рекомендуются из-за их малой эффективности.

3.4. Комбинированные системы являются наиболее распространенными для проветривания забоев тоннельных выработок после взрывов.

Традиционный вариант таких систем (рис. I) заключается в устройстве отсаса, расположенного от груды забоя на расстоянии

$$L_o = L_{\text{нр}} + (5 \div 10) \text{ м},$$

и рециркуляционного короткого воздуховода длиной 15–20 м, питающего самостоятельным вентилятором–побудителем или вентилятором, стоящим на возвышении воздуховоде.

Во всех случаях производительность рециркуляционной части системы определяется по формуле (7), а производительность вытяжки берется на 10–20 % больше

$$L_{\text{выт}} = (1,1 \div 1,2) L_{\text{нр}}$$

Воздуховод для притока или рециркуляции желательно размещать в верхней части выработки, где меньше вероятность его повреждения кусками породы при взрыве.

Оптимальное расположение вентса диаметрально противоположно притоку; при этом обеспечивается наилучшее омыление призабойного пространства воздухом.

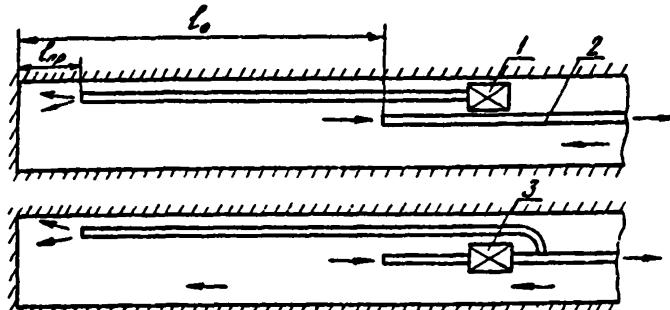


Рис.1. Комбинированные способы проветривания одиночных тупиковых забоев:  
1 - вентилятор-побудитель; 2 - отсасывающий воздуховод;  
3 - вентилятор для рециркуляции отсоса

3.5. При невозможности разместить всасывающий и рециркуляционный воздуховоды на указанных расстояниях от забоя (например, из-за загромождения пространства конструкциями буровой роны) можно рекомендовать рециркуляционную систему без воздуховодов (рис.2), как разновидность описанного варианта.

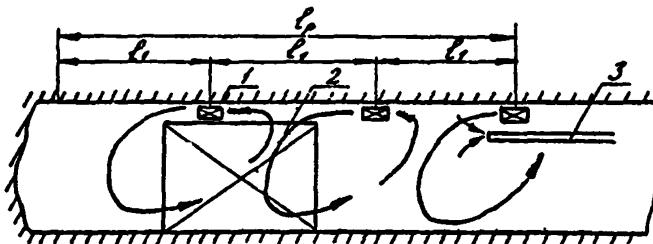


Рис.2. Рециркуляционная вентиляция в призабойном пространстве:  
1 - вентиляторы-побудители; 2 - загромождающая выработку конструкция; 3 - отсасывающий воздуховод

В местах 1,2 и т.д. располагаются вентиляторы или группы параллельно работающих вентиляторов одинаковой производительности  $L_p$ , м<sup>3</sup>/с, определяемой выражением

$$L_p = \frac{F_{вр} \cdot L_0}{\tau} \left[ 0.64 + 0.27 \frac{L}{D} (n-1) + 4.42 k_n \lg \left( 6 \frac{L \cdot k_n}{V F_{вр}} \right) \right], \quad (9)$$

где  $l_1$  - длина зоны рециркуляции, м;  
 $l_2$  - расстояние между вентиляторами (или их группами), м, определяется как и  $l_{av}$  по формуле (8) или по табл.5;  
 $n$  - количество вентиляторов (или групп), включая и приточ-  
 ий воздуховод, принятый за один вентилятор;  
 $D = \frac{4\pi r}{P}$  - приходящий диаметр выработки, м, где  $P$  - периметр сечения выработки.

3.6. Вентиляция пространства у промежуточного забоя (при раскрытии выработки на полный профиль) после взрыва может осуществляться по двум схемам:

а) сквозная по отношению к промежуточному забою схема, при которой создается движение воздуха по калоте (рис.3).

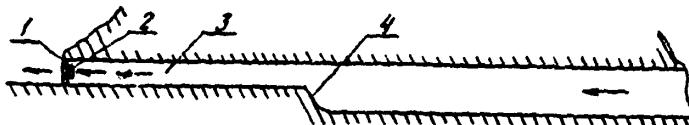


Рис.3. Сквозная вентиляция при раскрытии выработки на полный профиль:  
 1 - перемычка; 2 - вентилятор; 3 - калота; 4 - забой

Производительность сквозной вентиляции  $L_c$   $\text{м}^3/\text{s}$ , рассчитывается по формуле

$$L_c = \frac{F_{cp}(P_c + \Delta_p)}{\tau_c}. \quad (10)$$

где  $F_{cp}$  - средняя по длине следования газового облака пло-  
 щадь поперечного сечения выработки (калоты),  $\text{м}^2$ ;  
 $\tau_c$  - время очистки забоя и выработки от взрывных  
 газов, с;  
 $\ell_c$  - длина пути, проходимого облаком до места всаса,  
 выхода из штольни и поступления на участок,  
 где отсутствуют ходы, м;  
 $B$  - полуширина газового облака, определяемая по  
 графику из рис.4.

Кривая 1 относится к омально взгроможденным выработкам с не-  
 значимым поворотом потока перед местом образования взрывного облака;  
 кривая 2 - к прямым выработкам с обделками и к вентиляционным  
 воздуховодам; 3 - к выработкам с обделкой и внезапным поворотом;

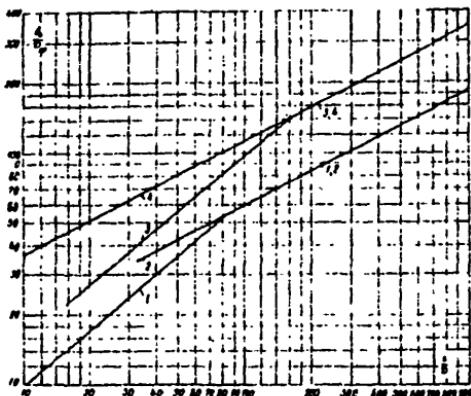


Рис.4. График зависимости полумирины газового облака от длины выработки:  $d$  - диаметр выработки

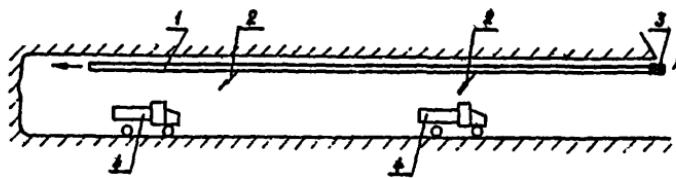


Рис.5. Система с распределенной раздачей воздуха:  
1 - воздуховод; 2 - перегородка; 3 - стоящевший воздуховод;  
4 - выработка, по которой идет транспортировка;

4 - к прямым выработкам, имеющим внезапное увеличение площади;  
 $D_{ср}$  - средний по длине следования облака приведенный диаметр выработки;

б) вытяжная схема аналогична для тупикового забоя.

Вентиляция при рассредоточенном выделении вредных веществ

3.7. Системы вентиляции тупиковых выработок при рассредоточенном по их длине выделении вредных веществ (выхлопные газы автомашин, одновременная сварка в нескольких местах) имеют несколько модификаций.

3.8. Традиционной является приточная продольная система с выпуском воздуха у забоя. Ее производительность определяется по формуле

$$L_{пр} = \frac{\Sigma G_{вд}}{C_{доп} - C_{вд}} \quad (II)$$

где  $\Sigma G_{вд}$  - сумма расчетных величин выделений на длине выработки;  
 $C_{доп}, C_{вд}$  - соответственно предельно допустимая и фоновая концентрации вредного вещества.

Расчетными величинами выделений вредных веществ называются такие их значения, которые учитывают неравномерность и неодновременность ведения работ, создающих источники этих выделений. Например, ведение сварки в трех-четырех местах выработка может быть и неодновременным.

3.9. Более эффективны, чем продольные, приточные системы с распределенной раздачей воздуха.

Суть таких систем заключается в том, что выработка разбивается на участки, в пределах каждого из которых имеется источник выделений. В конце каждого участка, считая от портала, выпускается чистый воздух, разбавляющий выделяющиеся вредные вещества до величины, достаточной для соблюдения нормы в начале участка (рис.5).

При этой системе только часть воздуха транспортируется до забоя, благодаря чему значительно снижаются затраты энергии.

Надо заметить, что неравномерность выделения вредных веществ из каком-либо участка выработки больше, чем из всей ее длины. Например, если в среднем в выработке одновременно находится пять автомашин, вызывающих породу, и вероятно наличие дополнительной массой (вследствие остаточной неравномерности движения), выработка поделена на 5 участков, то на одном из них вместо одной ма-

таким образом, для всей выработки загрузка вырастет в  $6/5$  раза, а для каждого участка — вдвое. Далее дадут предложение по количественному учету этого фактора.

Ресход воздуха, выпускаемого в конце последнего  $n$ -го участка (у забоя) при изподвижных источниках выделения вредных веществ определяется выражением

$$L_n = \frac{G_{bp,n}}{C_{dm} - C_o} \quad (12)$$

В конце предпоследнего участка

$$L_{n-1} = \frac{G_{bp}}{C_{dm} - C_o} \quad (13)$$

В конце первого участка

$$L_1 = \frac{G_{bp}}{C_{dm} - C_o} \quad (14)$$

Ресход воздуха, транспортируемого по воздуховоду и идущего по выработке на первом участке, будет равен

$$L_{q1} = \frac{\sum G_{bp,n}}{C_{dm} - C_o}, \quad (15)$$

на втором участке

$$L_{q2} = \frac{\sum G_{bp,n} - G_{bp1}}{C_{dm} - C_o} \text{ и т.д.} \quad (16)$$

3.10. Вентиляционные системы выработок, в которых имеются движущиеся источники выделения вредных веществ (автоматы, тракторы и пр.), необходимо рассчитывать с учетом скорости и направления их движения во отношении к воздушному потоку.

Чем ближе друг к другу скорости движения воздуха и источника, тем выше концентрация вредных веществ в подземном при прочих равных условиях. В пределе концентрация в окружающей источнике воздухом среде может достигнуть концентрации вредных веществ в выхлопных газах.

3.11. Для расчета производительности продольной вентиляции выработки или вентиляции с распределением рециркуляции предлагается следующие формулы:

концентрация определяемых вредных веществ, создаваемая стационарной машиной

$$\Delta_1 c = \frac{q_a c_a}{F_{bp} u}, \quad (17)$$

то же машиной, движущейся в направлении воздушного потока

$$\Delta_2 c = \frac{q_a c_a}{F_{bp} (v-u)}, \quad (18)$$

то же против потока

$$\Delta_3 c = \frac{q_a c_a}{F_{bp} (v+u)} \quad (19)$$

Итоговая концентрация получается в результате наложения (суммирования) концентраций, создаваемых машинами отдельно (или одной машиной, последовательно загрязняющей рассматриваемый участок), и фоновой концентрации; эта итоговая концентрация должна быть не более предельно допустимой

$$c_{\text{ит}} \leq c_0 + n_1 A_1 c + n_2 A_2 c + n_3 A_3 c. \quad (20)$$

В формулах (17)-(20):

$c_{\text{ит}}$ ,  $c$  и  $c_0$  - концентрации определяющих вредных веществ соответственно предельно допустимая, фоновая (в воздухе, забираемо: спиртуки) и в выхлопных газах автомашин,  $\text{мг}/\text{м}^3$ ;

$q_e$  - расход выхлопных газов одной автомашиной,  $\text{м}^3/\text{s}$ ;

$u$  - скорость движения воздуха по выработке,  $\text{м}/\text{s}$ ;

$U$  - средняя скорость движения автомашин,  $\text{м}/\text{s}$ ;

$n_1$ ,  $n_2$ ,  $n_3$  - число машин соответственно стоящих, движущихся по воздушному потоку и против него, выделяющих вредные вещества в какой-либо один элементарный объем этого потока.

3.12. Искомый расход воздуха (или скорости его) на рассматриваемом участке входит в расчетные формулы в явном виде. Расчет надо начинать с первого по ходу движения воздуха по выработке участка затем - для следующего. При распределенной раздаче воздуха разность расходов воздуха на этих участках является величиной расхода воздуха, выпускаемого на границе участков.

При определении величин  $n_1$ ,  $n_2$  и  $n_3$  надо учитывать неравномерность движения автомашин.

В приложении 5 даны методика и вспомогательные графики для таких расчетов, составленные с учетом наличия на призывном участке одной маневрирующей автомашин и одной стоящей под погрузкой (кроме машин, находящихся в движении).

В приложении 6 приведены аналогичные графики для машин ИСАЗ или дизелевозов.

#### Прочие условия

3.13. Вентиляция параллельных выработок, соединяемых сбойками, может осуществляться отдельно и независимо для каждой из них по одной из описанных схем. Однако гораздо эффективнее системы сквозного проветривания через одну или несколько сбоек с добавлением систем проветривания тупиковых участков.

Возможны следующие случаи организации вентиляции с использованием выработок в качестве воздуховодов:

а) выделения вредных веществ распределены в забоях выработок (например, после взрывов) и по длине одной из выработок, по которой идет транспортировка, во второй никаких работ не проводится.

Такое сочтение производственных факторов позволяет эту вторую из выработок использовать только как вентиляционный канал с превышением в нем при необходимости предельно допустимых концентраций вредных веществ.

Схема рассматриваемого способа вентиляции представлена на рис.6.

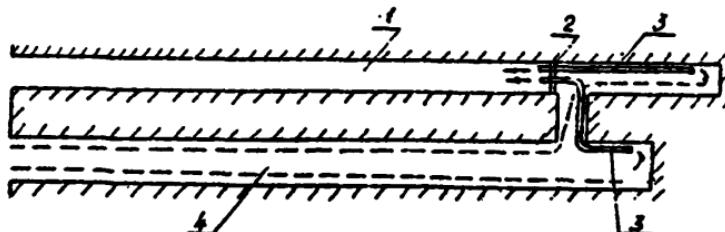


Рис.6. Комбинированная схема вентиляции:  
1 - "нерабочая" выработка; 2 - временная; 3 - отводящий воздуховод; 4 - выработка, по которой идет транспортируемый груз

Расчет производительности вентиляции сводится к определению расхода воздуха  $L_1$ , по "нерабочей" транспортной выработке (продольная вентиляция по п.3.И) и расходов  $L_2$  и  $L_4$  воздуха в мертвых системах вентиляции тупиковых участков обеих выработок (пп.3.1-3.10).

Расход воздуха в конце объединяющей выработки  $L_1$  должен приниматься не 10-15 % больше общей из двух величин:  $L_2$  и  $L_4$ , +  $L_3$ . В начале этой выработки (у портала) расход берется большим, чем  $L_1$  из величины подсосов через перешейки, установленные в обеих (рассматриваемая выработка должна находиться под разрежением);

б) работы ведутся в обеих выработках, выделения вредных веществ имеются как по их длине, так и в забоях (или однично после взрывов).

В этом случае целесообразно рассматривать два вентиляционных режима (рис.7).

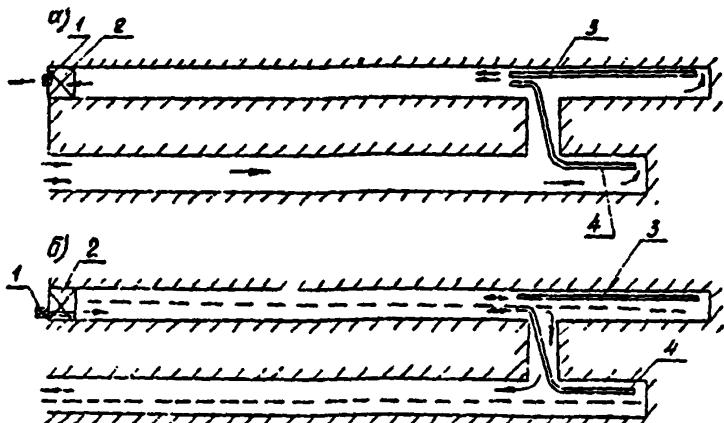


Рис.7. Комбинированная система вентиляции:  
а - после взрыва в забоях; б - в период выемки породы автогидравликами; 1 - вентилятор; 2 - шахта; 3 и 4 - воздуховоды; 5 - направление движения воздуха; --- путь автомешин

1. Режим проветривания одного из забоев после взрыва с отводом отсасываемых газов в одну из выработок (лучше меньшего сечения), из которой на время прохождения газового облака люди переходят в соседнюю выработку; необходимость простой компенсируется экономией времени проветривания обоих забоев за счет возможности создания в них более интенсивной вентиляции при тех же или меньших энергетических затратах (аварийное сопротивление выработок значительно меньше, чем воздуховодов); время прохождения газового облака  $T_g$ ;  $\delta$ , по выработке длиной  $L_{выр}$  и средней по длине площадью попечного сечения  $F_{поп}$  определяется выражением

$$T_g = \frac{F_p(L_{выр} - \delta)}{L},$$

где  $L$  - расход воздуха,  $m^3/с.$

2. Режим проветривания выработок, соединенных последовательно через кройную обойку, расход воздуха при этом режиме определяется как для продольной вентиляции условной выработки, имеющей длину, равную сумме длин обоих выработок (включая глухие участки) и обойки между ними (см.пп. 3.7 - 3.10).

3.14. Вентиляция выработки при зедании в ней сварочных работ практически возможна только по обобщенной схеме без использования местных откасов. Делательны приточные системы: продольные, распределенные или каскадные.

Их производительность следует определять из расчета разбавления выделяющихся вредных веществ.

Если, кроме сварки, других источников загрязнений воздуха нет, то определяющим вредным веществом является варовозъ.

Однако в совокупности с другими источниками (бурение, работы двигателей автомашин) определяющим может быть другое вредное вещество.

При определении воздухообмена по сварочным взрывозадымлениям следует учитывать из оседание на стенах тоннеля; первоначальная концентрация  $C_0$  в зоне сварки изменится и на расстоянии  $x$  (очищая в оторыве движения воздуха) будет

$$C_1 = C_0 \left( \frac{1}{1 + \beta x} \right),$$

где  $\beta$  - коэффициент, имеющий значения для выработок с тюбинтовой обделкой и без обделки  $0,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}^{-1}$  и для выработок с гладкой обделкой  $0,07 \cdot 10^{-3} \text{ м}^{-1}$ .

3.15. Независимо от схемы производства работ и технологии их ведения производительность систем вентиляции должна рассчитываться по наибольшему числу людей  $n_a$ , одновременно занятых в оболаживаемых этими системами выработках

$$L_2 > \frac{n_a}{10}, \text{ м}^3/\text{с},$$

и по минимально допустимой окрасости  $u_{min}$  движения воздуха по выработке

$$L_{min} > Q \cdot F_{a,v}, \text{ м}^3/\text{с}.$$

#### 4. ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ И ОБОРУДОВАНИЕ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ

##### Металлические воздуховоды

4.1. При строительстве тоннелей обычно применяются стальные воздуховоды круглого сечения тех же размеров, что и в рудничной вентиляции (конструктивные показатели даны в приложении 7). Звенья воздуховодов изготавливаются из листового металла в прессовых мастерских.

4.2. Соединение звеньев воздуховодов друг с другом рекомендуются двух типов:

фланцевые и бандажные.

4.3. Существует несколько типов фланцевых соединений, но радиационный - с приваренными фланцами и резиновой прокладкой - является самым надежным. Руководство по проектированию и организации проветривания шахт [6] рекомендует применять кольцевые прок-

я-дки сечением 15 × 15 мм; однако более доступны прокладки из резиновой полосы, наматываемой в 2-3 слоя и обвязываемой поверху шнуром (рис.8).

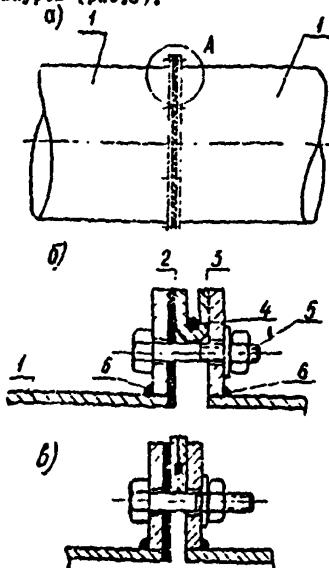


Рис.8. Уплотнение фланцевого соединения резиновой прокладкой:

а - общий вид; б - узел А (сечение) в обвязанных состояниях; в - то же в затянутом; 1 - трубы воздуховода; 2 - сувесившаяся прокладка; 3 - дополнительная прокладка из резиновой полосы; 4 - ворс; 5 - болт; 6 - фланец

Для этой же цели промышленность ( завод резино-технических изделий, г.Волгский) выпускает прокладочную ленту из тубчатой резины ВЗ-307-Х10 марок 6208А (ширина 27 мм) и 6208Б (ширина 17 мм).

Фланцевые соединения с прокладками из неупругих или малоупругих материалов (картон, пенька, всбес) не рекомендуются, так как при температурных деформациях трубопроводов герметичность стыков нарушается.

Проведенные стендовые эксперименты позволяют рекомендовать такие в качестве опытных фланцевые соединения с прокладкой гермита (хлут диаметром 30 мм), изготовленного на заводах "Стройдеталь" Мосстройделпрома Главмостстроя (г.Москве) и Псковском комбинате строительных материалов Мособлстройматериалов по ТУ-МТИ-2-РСФСР-12-68 и ГОСТ 5.1011-71.

4.4. Ещё одно соединение состоит из липкой поливинилхлоридной ленты НРТУ-6-05-1040-67 и ТУ-21-2946-76, предназначенной для

противокоррозионной эмали магниторельных газопроводов, которой обертываются гладкие концы стыкуемых воздуховодов и бандаж из листовой стали, устанавливаемого на ленту (рис.9). Заводы-изготовители: Тучковский экспериментальный и Вильнюсский завод полимерных изделий.

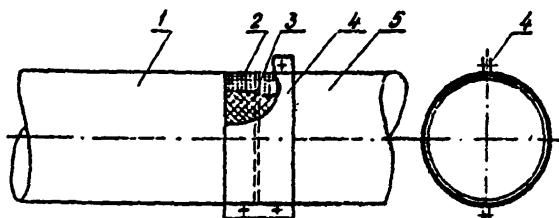


Рис.9. Бандажное соединение воздуховодов:  
1,5 - стыкуемые воздуховоды; 2 - липкая лента;  
3 - тканевая прокладка; 4 - стальной бандаж

Ширина полосы липкой ленты 0,2-0,25 м (ширина ленты в рулонах, выпускаемых промышленностью, составляет 400 и 500 мм).

Такой же ширине ставится бандаж (толщина 1,5-2 мм), состоящий из двух половин или разрезного кольца; по ширине бандажа ставится не менее двух болтов.

В качестве заменителя липкой ленты можно использовать пропропиленную ткань, нанеся на нее перед обертыванием грубы мастику лутеглор, разогретую до 50°С (на износ 2 кг мастики на 1 м<sup>2</sup> ткани). Количество ватков, широкие ленты и бандаж оставляется теми же, что и для стыка с липкой лентой. Буколай изготавливается объединением "Победа" (Ленинград-Колпино) и объединением "Строинвестмас" (Москва) по ТУ-21-29-45-78.

4.5. Коэффициент воздухонепроницаемости указанных стиков, относящийся к длине их периметра, приведен в табл.6.

4.6. Для выбора экономически оптимальных диаметров воздуховодов для графика (приложение 8).

Аэродинамические сопротивления воздуховодов, узелки воздуха и места установки вентиляторов находятся по nomogrammam приложения 9

Таблица 6

п/п	Тип соединения	Коэффициент воздухопроницаемости стыков металлических труб
		$\kappa_0 \cdot \frac{m^2}{0 \cdot Pa I/2} \left( \frac{m^2}{0 \cdot kg I/2} \right)$
1	Фланцевое с резиновым уплотнением	0,0003 (0,0010)
2	Фланцевое из гермита	0,0003 (0,0010)
3	Бандажное из липкой ленты	0,00015 (0,0005)
4	Бандажное из ткани, покрытой бутылодом	0,0003 (0,0010)

## Тканевые воздуховоды

4.7. Звенья воздуховодов из ткани с различной пропиткой выпускаются отечественной промышленностью в комплекте с "разъемными" звенями и фасонными частями. Звенья имеют кольца для стяжки.

Номенклатура и характеристики тканевых воздуховодов дены в приложении 10.

Эти воздуховоды могут использоваться только в качестве напорных, что практически означает необходимость установки вентиляторов в начале участка. Последовательная рассредоточенная установка вентиляторов исключается.

4.8. Аэродинамическое сопротивление тканевых воздуховодов  $h_s, Pa(m^2)$ , складывающееся из сопротивления трения  $h_1$  и суммы местных сопротивлений, создаваемых в стыках,  $h_2$ :

$$h = h_1 + h_2; \quad (21)$$

$$h_1 = 10,5 \alpha \ell \frac{u_0^2}{d^2}; \quad (22)$$

$$h_2 = 0,25 \xi \left( \frac{\ell}{m} + 1 \right) u_0^2, \quad (23)$$

где  $\alpha$  - коэффициент сопротивления, значения которого дены в табл. 7;

$\ell$  - длина воздуховода, м;

$d$  - диаметр воздуховода, м;

$u_0$  - скорость движения воздуха, м/с;

$m$  - длина одного звена воздуховода, м;

$\xi$  - коэффициент сопротивления стыка (см.табл.7).

Таблица 7

Степень натяжения воздуховода	При значении критерия Рейнольде					
	$10^5$	$2 \cdot 10^5$	$4 \cdot 10^5$	$6 \cdot 10^5$	$8 \cdot 10^5$	$10^6$
Больчина $\alpha \cdot 10^4$ , $m^2 \cdot s^{-2} \cdot Pa$ ( $kg \cdot s^{-2}$ )						
Хорошая	35(3,60)	29(3,00)	23(2,40)	19(1,90)	16(1,65)	16(1,65)
Средняя	94(9,60)	62(6,30)	41(4,20)	34(3,45)	29(3,00)	28(2,85)
Плохая	400(41,00)	280(29,00)	160(15,50)	110(11,10)	80(8,10)	60(6,30)
Величина $\xi \cdot m^2 \cdot Pa / s^2$ ( $kg \cdot s^2$ )						
Независимо от натяжения	2,0(0,22)	1,7(0,17)	1,2(0,12)	1,0(0,10)	0,8(0,08)	0,8(0,08)

4.9. Необходимо иметь в виду, что для подбора вентиляторов, работающих на текстильный воздуховод, их напор должен браться с большего аэродинамического сопротивления воздуховода на величину давления  $\Delta h$ , требующегося для натяжения ткани. Это давление должно создаваться путем установки соответствующей диафрагмы или изконечника на выходе.

#### Выработки

4.10. При организации сквозного проветривания выработки играют роль воздуховодов и, являясь элементами воздушных трасс, подлежат учету при аэродинамическом расчете систем.

Надо отметить, что аэродинамическое сопротивление воздуховодов нестолько велико по сравнению с сопротивлением выработок, что при последовательном их расположении, последнее может не приниматься во внимание.

Подсчет сопротивлений выработок может оказаться необходимым для распределения воздуха при их параллельном соединении.

4.11. Сопротивление выработок, характерных для тоннелестроения сечений, подсчитывается по формуле

$$h = \sum (h_t + h_i), \quad (24)$$

где  $h_t$  - сопротивление трения,  $Pa$  ( $kg \cdot m^{-2}$ ), по длине выработок;

$$h_t = \alpha_t \frac{\rho u^2}{2} U_m^2; \quad (24)$$

$h_i$  - местное сопротивление,  $Pa$  ( $kg \cdot m^{-2}$ ),  $h_i = \xi \frac{u^2 \rho}{2}$ ;

$\alpha_t$  - коэффициент сопротивления выработки; для выработок без креплений или с тюбинговой обделкой

$$\alpha_t = 150 \cdot 10^{-4} \frac{Pa \cdot s^2}{m^2} (15 \cdot 10^{-4} \frac{kg \cdot s^{-2}}{m^4}); \text{ для выработок с гладкой бетон-$$

$$\text{ной обделкой } \alpha = 100 \cdot 10^{-4} \frac{\text{Па} \cdot \text{с}^2}{\text{м}^2} (10 \cdot 10^{-4} \frac{\text{кг} \cdot \text{с}^2}{\text{м}^4});$$

$\zeta$  - коэффициент местного сопротивления, в области тоннелестроения местные сопротивления выработок имеют гораздо большее значение, чем сопротивление трения; рекомендуемые величины  $\zeta$  даны в приложении II;

$R$  - периметр выработки, м;

$l_{\text{ш}}$  - длина участка, м;

$u_{\text{ш}}$  - скорость воздуха на данном участке выработки, м/с;

$\rho$  - плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup> ( $\frac{\text{кг} \cdot \text{с}^2}{\text{м}^4}$ ).

4.12. Движение воздуха по параллельным выработкам существенно зависит от величины его перетекания через заглубленные обойки, тем более, что на практике плотность заглубок весьма относительная.

Учитывая, что обойки фактически используются как для склонирования, так и для проходки и, соответственно, ставятся перегородки или двери самой случайной конструкции, чем нарушаются предусмотренные распределение воздуха, рекомендуется в проектах делать совершенно определенные конструкции этих устройств, воздухопроницаемость которых надо вводить в расчет вентиляции; не производстве же необходимо следить за выполнением и эксплуатацией перегородок, дверей и лифтов в соответствии с проектными решениями.

4.13. Расчет величины утечек через глухую перемычку  $L_{\text{ш}}$ , м<sup>3</sup>/с, можно делать по формуле

$$L_{\text{ш}} = K_{\text{ш}} p \sqrt{\frac{h_{\text{ш}}}{\delta}}, \quad (25)$$

где  $K_{\text{ш}}$  - коэффициент воздухопроницаемости перемычки,

$$\frac{M^{5/2}}{с \cdot \text{Па}^{1/2}} \left( \frac{M^{7/2}}{с \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{1/2}} \right), \text{ приведен в табл. 8};$$

$p$  - периметр примыкания перемычки к стенкам обойки, м;

$h_{\text{ш}}$  - статометрический напор, Па (кг/м<sup>2</sup>);

$\delta$  - толщина стеки, м.

Таблица 8

№/п	Типы перемычек	Коэффициенты воздухопроницаемости $\kappa_{yt} \cdot 10^5$	
		Нетривиальные породы	Тривиальные породы
1	Шлако- и бутобетонные	280(90)	510(165)
2	Каменные	500(160)	870(280)
3	Шлакоблоковые	370(120)	680(215)
4	Чураковые	810(260)	1340(430)
5	Насыпные	870(280)	1440(460)
6	Досатые	1110(360)	1960(630)

4.14. Утечки воздуха через двери  $L_{dt}$ , м<sup>3</sup>/с, можно подсчитать по формуле

$$L_{dt} = 0,006\varphi F_{dt} \sqrt{h_{cr}} (L_{dt} = 0,02\varphi F_{dt} \sqrt{h_{cr}}). \quad (26)$$

где  $\varphi = 1$  – для одной двери;  $\varphi = 0,76$  – для двух и  
 $\varphi = 0,66$  – для трех дверей;  
 $F_{dt}$  – площадь двери, м<sup>2</sup>.

4.15. Сопоставление трех видов воздуховодов позволяет дать следующие рекомендации:

при величине технологических возможностей, безусловно, целесообразно использование тоннельных выработок в качестве воздуховодов; металлические воздуховоды являются самыми дорогими; их применение надо планировать в магистралях большой длины (свыше 1 км), при последовательной установке вентиляторов (когда в воздуховодах создаются участки разрежения) и при необходимости развертывания систем;

из двух видов рекомендуемых соединений металлических воздуховодов предпочтительнее бандажное как менее трудозатратное и легче ремонтируемое при расстройстве во время эксплуатации; однако при наличии труб с погнутыми концами (что можно предположить для повторного применения на другом объекте с перевозкой) бандажное соединение описанного типа не пригодно и необходимо переходить на фланцы;

тканевые воздуховоды непригодны для систем с изменением направления движения воздуха, хотя при невысокой их стоимости можно идти на дублирование магистралей для работы на разных режимах.

4.16. Плотности воздуховодов должно придаваться большое значение, так как утечки воздуха (или подсос) не только приводят к

нарушение санитарно-гигиенических режимов в выработках и не только означают бесполезную трата электроэнергии, но и могут привести к отказу системы при аварийной ситуации.

Исходя из этого, предлагается ввести текущий контроль за состоянием вентиляционных систем, для чего:

предусматривать в проектах воздуховодных магистралей установку через каждые 100-150 м штуцеров для подсоединения резиновых трубок с присоединением стеклянными U-образными манометрами, заполняемыми водой;

дать в проектах расчетные величины давлений по точкам размещения штуцеров на соответствующие этапы проходки;

производитель работ обеспечивает постоянное заполнение водой манометров и периодически проверять соответствие фактической дифференции с проектной, а в случае больших расхождений - устранить причину; дополнительные затраты ничтожны, экономия же может быть достигнута в десятках тысяч рублей, не говоря об остальных вопросах.

4.17. Как правило, соединения воздуховодов в процессе эксплуатации теряют свою герметичность и требуют ее восстановления (приложение 12).

#### Вентиляторы

4.18. Характеристики основных типов вентиляторов, применяемых обычно в тоннелестроении, приведены в приложении 13.

Вентиляторы общего назначения, как правило, не используются при строительстве тоннелей, хотя во многих случаях они более подходящи, нежели машины. Например, можно рекомендовать в качестве вентилятора-побудителя при проветривании глухих забоев использовать вентиляторы ИЦ вместо обычно применяемых "Проходки" или СВИ. Вентилятор ИЦ весит в 3 раза меньше, чем на один номер меньшие СВИ и в 5 раз меньше, чем "Проходка", что существенно для удобства передвижения; установочная мощность вентилятора ИЦ-6 составляет всего 0,8 кВт, тогда как у "Проходки 5" она равна 9,5, а у СВИ-5 - 6,5 кВт. То же можно сказать и о применении вентиляторов общего назначения для циркуляционных систем приводной зоны и для отбойной вентиляции (см.пп.3.4, 4.24).

Препятствием для использования вентиляторов общего назначения в тоннелестроении может служить наличие в выработках взрывоопасных газов, когда допускается вентиляторы только во взрывобезопасном исполнении.

4.19. При подборе вентиляторов следует учитывать, что по мере удлинения выработок удлиняются и воздушные тракты, вследствие чего их сопротивление растет, растет и требуемая производительность вентиляции (увеличиваются утечки, возрастают выделения вредных веществ). Производительность же вентиляторов в соответствии с их характеристиками падает. Это противоречие обычно разрешается тем, что воздуховоды и вентиляторы подбирают на максимальную нагрузку, вследствие чего большую часть времени вентиляторы работают с низким КПД, выходящим за пределы нормативного установленного для промышленности ( $h_{min} = 0,5$ ).

Прибегают также к установке дополнительных вентиляторов по мере удлинения выработок и воздуховодов. Имеются решения о использовании вентиляторов с переменным числом оборотов или поворачивающимися лопатками. Как правило, такие вентиляторы представляют собой машины большой мощности, установка которых возможна вне тоннеля (у портала или у щахты). Это обусловливает значительную доплескцию в воздуховодах с соответствующими повышенными утечками или подсосом воздуха, но в итоге затраты электроэнергии снижаются.

4.20. Учитывая сказанное, можно отметить следующее:

а) с точки зрения эффективного использования вентиляторов (так же как и по другим показателям) целесообразно применять схему сквозного проветривания, при которой сопротивление воздушных трактов практически не меняется;

б) при необходимости устройства магистральных воздуховодов, последовательно неразрывемых по мере углубления выработки при мало зависящей от ее длины интенсивности выделения вредных веществ, целесообразно использовать принцип последовательной рассредоточенной установки вентиляторов по длине воздуховодов; методика определения мест расположения вентиляторов дана в приложении 9;

в) в случае, когда количество вредных веществ существенно увеличивается с длиной выработки (например, при автомобильной возке), более рациональна установка группы вентиляторов у портала (или одного вентилятора с регулируемой производительностью); повышенные утечки до некоторого предела являются даже полезными, так как дополняют распределенную раздачу воздуха.

4.21. Для проветривания забоев после взрывов при невозможности размещения воздуховодов в прошахтах буровой рамы можно в качестве

во вентиляторов-побудителей использовать пневмовентиляторы или вентиляторы, работающие на сквозном воздухе или воде (рис.10). Характеристики пневмовентиляторов приведены в приложении 13.

#### Системы побуждения движения воздуха при сквозном проветривании

4.22. Самой простой, экономичной и надежной системой создания сквозного проветривания двух выработок через соединяющую их обойку является установка одного или группы вентиляторов в перемычке, находящейся в каком-либо месте воздушного тракта.

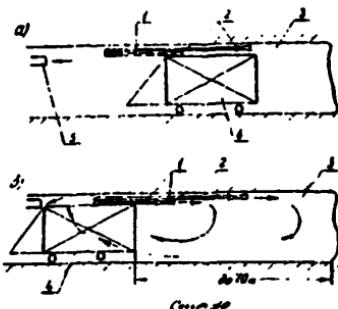


Рис. 10. Проветривание забоя с помощью вентиляторов:  
а - буровая решетка у забоя; б - буровая решетка отведена от забоя, идет проветривание; 1 - линия сквозного воздуха; 2 - вентилятор; 3 - забой; 4 - буровая решетка; 5 - возвращающий воздуховод

Практически возможны три варианта размещения этого узла, перемычки и вентиляторов (рис.11):

- перемычка находится у портала одной из выработок, воздух нагнетается вентиляторами в эту выработку;
- перемычка находится у портале обеих из выработок, воздух отсасывается из этой выработки;
- перемычка находится в обойке.

Наиболее целесообразным (с точки зрения вентиляционного эффекта) является вариант "б", так как при нем удаленный из выработки загрязненный воздух может быть отведен от припортальной площадки, что исключит опасность его попадания в тоннель.

При варианте "а" воздух для притока может забираться вне зоны выброса из второй выработки, но освежающая припортачная площадка, где обычно находятся люди, оказывается в этой зоне.

Вариант "б" не исключает загрязнения выбросами припортачной площадки и приточного воздуха; кроме того, он требует переноса вентиляторов из одной сбойки в другую по мере проходки выработок.

Окончательный выбор места установки перемычки и вентиляторов, а также типа перемычки (глухая, со шлюзом, с воздушной завесой) должен определяться в результате учета частоты и характера движения через это место, необходимости подогрева воздуха и т.п.

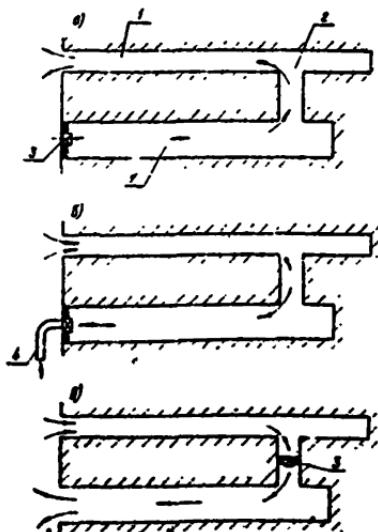


Рис. II. Схемы сквозной вентиляции, варианты а, б, в, установки вентиляторов:  
1 - выработка; 2 - сбойки; 3 - вентиляторы;  
4 - отводящий воздуховод; — движение воздуха

Способ установки вентиляторов в перемычке позволяет легко регулировать расход воздуха путем включения нужного количества вентиляторов. С этой точки зрения для выработок с меняющимся режимом выделения вредных веществ желательна установка большого числа мелких вентиляторов.

Учитывая возможность использования вентиляторов общего назначения и их невысокую стоимость, реверсирование системы можно предусмотреть путем включения дублирующих вентиляторов, установленных в той же перемычке, но в обратном направлении (для такого решения, конечно, нужна определенная площадь глухой части перемычки).

4.23. Портельная установка типа Саккардо вполне может обеспечить требуемый расход воздуха в выработках, однако для нее требуется значительно большая мощность вентилятора (существенные потери напора имеются в кольцевом воздухораспределителе). Зато такая система совершенно не стесняет процессы транспортировки и перемещения людей по выработке.

Расчет систем Саккардо для постоянной вентиляции тоннелей имеется в [8].

4.24. Системы струйной вентиляции, получившие за последние годы большое распространение для проветривания автодорожных тоннелей, пока не апробированы в достаточной мере при строительстве тоннелей, но о возможности их применения в этой области говорилось неоднократно.

Суть струйной вентиляции заключается в том, что по длине тоннеля (обычно под его сводом) через определенные промежутки устанавливаются сводчатые или с короткими патрубками вентиляторы или группы вентиляторов, дутье которых направлено в одну сторону.

Струи вентиляторов подсасывают окружающий воздух и создают общее его движение по тоннелю. Коэффициент полезного действия таких систем не превышает 0,09, но иногда это не является существенным.

Достоинство системы в простоте ее устройства и эксплуатации.

Учитывая малую изученность вопросов применения струйной вентиляции для проветривания выработок, она рекомендуется в качестве экспериментальной.

#### Теплозащита припортальных участков

4.25. При строительстве тоннелей в зимнее время их припортальная зона наиболее подвержена охлаждению наружным воздухом.

Для условий строительства тоннелей в районах с суровым климатом, в том числе и на БАМе, это зоны могут достигать 400 и улины.

Поэтому портальные проемы рекомендуется оборудовать воротами с постоянной действующими боковыми воздушными завесами. Открытие портала, кроме части, занятой воротами, следует наружу заполивать.

4.26. Эффективная работа воздушных завес при любой системе вентиляции может быть обеспечена лишь при организованных притоках и вытяжке.

В случае приточной вентиляции удаление воздуха из застройки должно осуществляться при помощи вентилятора через короткий воздуховод с устройством спиральной утепленной волты (рис.12,а). В случае вытяжной вентиляции (постоянной или при разворотировании) приточный воздух в количестве, необходимом для компенсации вытяжки, также должен подаваться через короткий воздуховод с помощью вентилятора. Выпуск воздуха в застройку осуществляется у ворот портала (рис.12,а,б).

4.27. При организованных притоках и вытяжке (в том числе и указанном в п.4.26 способе) движение воздуха в плоскости ворот будет проходить под действием гравитационного напора. Количество воздуха, прорывающегося через портал, оборудованный раз pamphными воротами,  $L_{\text{пр}}$ , м<sup>3</sup>/с, определяется по формуле

$$L_{\text{пр}} = \frac{0.98}{\rho_n} \sqrt{H^3(\rho_n - \rho_t)} \quad (27)$$

без ворот

$$L'_{\text{пр}} = \frac{0.98}{\rho_n} \sqrt{H^3(\rho_n - \rho_t)} \quad (28)$$

где  $B$  – ширина проема, м;  
 $H$  – высота проема, м;

$\rho_n$  и  $\rho_t$  – плотности наружного и внутреннего воздуха, кг/м<sup>3</sup>.

4.28. Воздух для завесы следует забрать спиралью. Температура смеси наружного воздуха и выходящего из цепей завесы должна быть не ниже +2°C. Направление движения воздуха, подаваемого через цепи завесы, следует предусматривать против движения воздуха в плоскости ворот под действием гравитационного напора, т.е. в верхней части – в сторону тоннеля, в нижней – наружу (рис.13). При постоянной приточной вентиляции выпуск воздуха завесами может осуществляться только в нижней трети ворот.

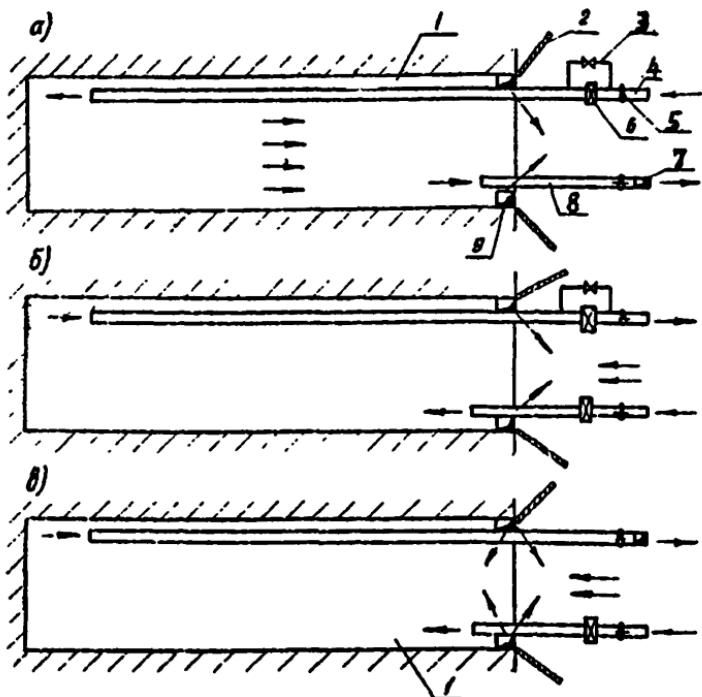


Рис. II. Системы вентиляции и защиты припортальной зоны выработки:

а - приточная вентиляция; б - развертывание после взрыва; в - постоянная вытяжная вентиляция; — направление движения воздуха; 1 - выработка; 2 - отборки ворот; 3 - обходной воздуховод; 4 - вентиляционный воздуховод; 5 - вентилятор; 6 - калорифер; 7 - угольная машина; 8 - короткий воздуховод для компенсации притока или вытяжки; 9 - отвод воздушной завесы

4.29. Для обеспечения в любом месте выработки температуры не ниже  $t_g$  (приложение 3) вентиляционный воздух, подаваемый в выработку в зимнее время, должен подогреваться.

Используемость калориферных установок определяется по формуле

$$Q_n = Q35L_{\text{штр}}(t_{\text{возд}} - t_n) \cdot Br \quad (29)$$

$$(Q_n = 0,1V_{\text{штр}}(t_{\text{возд}} - t_n), \text{ккал}/\text{ч}).$$

где  $L_{\text{вр}} - \text{объем вентиляционного воздуха, подаваемого в выработку, м}^3/\text{ч};$

$t_{\text{наг}} - \text{температура, до которой воздух должен нагреваться в калориферах, } ^\circ\text{C};$

$t_n - \text{температура наружного воздуха наименее холодной пятидневки, т.е. температуре для расчета отопления. } ^\circ\text{C}.$

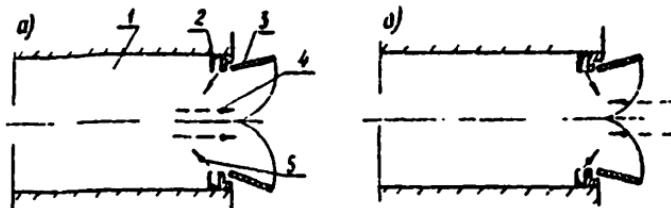


рис. 13. Направление выпуска воздуха из стояков забоя: а - в верхней части борта; б - в нижней части борта; 1 - выработка; 2 - стойка забоя; 3 - борта; 4 - направление движения воздуха в приеме; 5 - то же, из стояков забоя

Если первоначальная температура породы, окружающей выработку, больше температуры выработки, то температура нагрева принимается равной

Если первоначальная температура породы  $t_n$  из зоны прогревания выработки или на отдельных участках менее  $t_s$ , то  $t_{\text{наг}}$  принимается:  
а) при вытяжной и сквозной вентиляции  $t_{\text{наг}} = +25^\circ\text{C}$ ;  
б) при приточной вентиляции

$$t_{\text{наг}} = t_s + \frac{M(\ell'' + l)}{\ell'' + l + 2M} (t_s - t_n), {}^\circ\text{C}, \quad (30)$$

где  $M = 8,5 \frac{\rho}{\rho''} \frac{l}{l''}$  - длина участка, на котором  $t_n < t_s$ , м;  
 $\rho''$  - периметр воздуховода, м.

$$M = 3,34 \frac{\rho}{\rho''} \frac{\ell'' \ell'''}{\ell} (M = 2,88 \frac{\rho}{\rho''} \frac{\ell'' \ell'''}{\ell}),$$

где  $\rho_{\text{вр}} - \text{периметр выработки, м};$   
 $K_c - \text{средний по длине выработки коэффициент нестационарного теплообмена между воздухом и породой для трапестирочных тоннелей, находящихся в стадии проходки.}$

$$Bt(\text{м}^2 \cdot {}^\circ\text{C}) \quad (\text{ккал}/(\text{м} \cdot \text{ч} \cdot {}^\circ\text{C})) \\ \lambda_n \left( 1 + 0,27 \sqrt{\frac{a_n \tau_p}{R_n^2}} \right).$$

$$K_c = 1,3 \frac{0,03 V a_n \tau_p}{a_n^2 + \frac{\lambda_n}{\alpha_n}}, \quad (31)$$

где  $\lambda_n$  - коэффициент теплопроводности породы,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot {}^\circ\text{C})$   
 $(\text{ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot {}^\circ\text{C}))$ ;  
 $a_n$  - коэффициент температуропроводности породы,  $\text{м}^2/\text{ч}$ ;  
 $R_n$  - эквивалентный радиус выработки  $R_n = \frac{2r_{\text{шах}}}{\rho_{\text{шах}}}$ , м;  
 $t_p$  - время, прошедшее от начала проходки участка с  $t_1 < t_p$   
 до расчетного момента, ч;  
 $\alpha_n$  - коэффициент теплопередачи между воздухом и стенками  
 и выработки,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot {}^\circ\text{C})$  ( $\text{ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot {}^\circ\text{C})$ ); для выработок  
 в период строительства в зимнее время  

$$\alpha_n = 4,5 \frac{L^{0,75}}{t_p} \quad \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot {}^\circ\text{C}) \quad (\text{ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot {}^\circ\text{C})).$$

При определении мощности калориферов следует учитывать теплоизделияния электродвигателей осевых вентиляторов, установленных в приточных воздуховодах.

Методика определения мощности калориферных установок действительна для выработок с любым уклоном и для вертикальных стволов.

Для расчета мощности калориферных установок при  $t_n < t_p$  для приточной вентиляции длины в приложении 14.

4.30. Установки для нагрева вентиляционного воздуха рекомендуется располагать снаружи у порталов в утепленных камерах.

Вентиляционные установки должны проектироваться с учетом мер по предотвращению обмерзания оборудования. Для этого рекомендуется:

а) устраивать обводной воздуховод в пределах приточного узла для рециркуляции нагретого воздуха в количестве, которое должно обеспечивать нагрев наружного воздуха, поступающего в калорифер, до температуры не ниже  $-30^\circ\text{C}$ .

Итоговая производительность приточного центра с обводным каналом будет меньше производительности вентилятора на количество воздуха, проходящего по каналу;

б) теплоноситель подключать так, чтобы сначала зону проходила та секция калориферов, которые являются первыми по ходу воздуха;

в) при выборе теплоносителя предпочтение следует отдавать неразогретой воде;

г) устраивать автоматические системы, эспирющие утепленный клапан воздухозаборного канала приточного центра при понижении температуры теплоносителя ниже определенного значения.

## Устройства для борьбы с запыленностью воздуха

4.31. Все способы борьбы с пылью могут быть подразделены на четыре вида:

- а) локализация очагов пылеобразования и зон повышенной запыленности воздуха;
- б) вентиляция, работающая "на разбавление" концентрации пыли;
- в) средства пылеулавливания;
- г) средства пылеуменьшения.

4.32. Локализация очагов пылеобразования в условиях промышленности обычно решается устройством укрытий, чьего в большинстве случаев нельзя сделать при строительстве горных тоннелей из-за частых перемещений источников пыли из эвакуационных расстановок (например, режущих органов проходческих комбайнов, ковшами экскаваторов и т.п.) или ограниченности пространства (например, пересеки у транспортеров).

Гераздо большее применение находят способы локализации мест повышенной запыленности, осуществляющие путем создания движения воздуха в направлении от рабочих мест посредством отсосов. Таков принцип действия вентиляции запыленной зоны у лба забоя при работе комбайна.

Установлено, что основным фактором для такой локализации является скорость движения воздуха, которая должна быть не менее 0,3 и не более 0,6 м/с. При меньшей скорости пыль распространяется позади движущегося воздуха, при большой — взмучивается из отложений, вследствие чего увеличиваются концентрация пыли.

Метод вентиляции, основанный не на разбавлении вредных веществ, а на их локализации и удалении от рабочих мест, называется некоторыми авторами "динамической".

4.33. Для некоторых процессов, зоны запыленности не могут быть локализованы (например, сварочные работы в тоннеле, транспортировка породы, цемента и т.п.).

В этом случае приходится надеяться на применение вентиляции, работающей "на разбавление" пыли до допустимой концентрации.

Здесь рекомендуется иметь в виду необходимость наложения концентраций при последовательном по потоку воздуха размещении источников пыли с учетом возможной разницы значений ее ПДК.

Так, при выделении пыли в количестве  $G_1$  (например, в забое), имеющей ПДК<sub>1</sub> в воздухе, поступающий затем к месту сварки (интенсив-

ность виделения ворозолей  $C_1$ , при  $\text{ЦДК}_2$ ), расчетное значение предельно допустимой концентрации будет равно

$$\text{ПДК} = \frac{C_{\text{ПДК}} + C_{\text{ПДК}}}{C_1 + C_2}, \quad (32)$$

а требуемый расход воздуха определяется по формуле

$$L = \frac{C_1 + C_2}{\text{ПДК} \cdot C_{\phi} \cdot \text{ПДК}}, \quad (33)$$

где  $C_{\phi}$  - физическая концентрация пыли, предельно допустимая концентрация которой  $\text{ЦДК}_{\phi}$ .

Надо отметить, что для этого способа, так же как и для предыдущего, существует верхняя граница скорости движения воздуха (6 м/с), выше которой вентиляция по пыли становится неэффективной и надо прибегать к другим способам борьбы с загрязненностью воздуха.

4.5%. Самым распространенным способом гашения пыли является ее увлажнение. При этом может применяться увлажнение до выделения пыли в воздух и увлажнение пыли, находящейся в воздухе, для ее осаждения.

Допущение об эрозии гашения пыли, образующейся при бурении, от промывки водой приведено в приложении 15. Эффект уменьшается еще в 1,5-2 раза при промывке водой с добавками в нее смачивателя, простейшим из которых является поваренная соль.

Практически мокрое бурение при достаточном расходе воды обеспечивает отсутствие прызывающей предельно допустимой концентрации пыли в воздушной зоне.

Расход промывочной воды для ручных перфораторов должен быть не менее 3 л/мин, для колонковых и телескопических 5 л/мин и для бурильных установок 12 л/мин. Не меньшую роль играет смачивание при взрывании зарядов.

Гидроабразивка обычно делается из расчета залежек в штурах пакетов о водой в количестве, равном массе ВВ.

В горко-добычной промышленности широко применяется орошание гобойщевого облака, образующегося при взрыве.

Эффективность орошения забоя чрезвычайно велика (не только по гашению пыли, но и по поглощению газов водой), однако оптимальное количество форсунок приходится находить опытным путем на объекте {9,10} .

Чрезвычайное значение для эффекта имеет степень дробления воды в форсунках. Важно, чтобы образовался туман с крупностью капель 10-15 мкм, что достигается в пневмопорсунках при давлении воды в подводящих трубах не менее 0,4 и воздуха 0,6 МПа (6 ати).

4.35. Внешняя гидрозабойка позволяет очищать запыленность при забойной зоне после взрыва от 4 до 12 раз, что сопоставимо с очищением пневмофорсунками. По [10] для аналогичной гидрозабойки на расстоянии около 10 м от забоя подвешиваются на высоту 1,8 м полизтиленовые мешки, содержащие 15-25 л воды. В каждый мешок закладываются (или привязываются стружи) обычные патроны-осенники или специальные патроны ВОСТИКИ, которые взрываются не 25 мг раньше, чем заряды в штурах.

4.36. В выработках с автомобильной узкоСР (когда пыльно-газов происходит повышенное пылевиделение из первоэрозионной породы), в периоды ведения сварочных работ по длине тоннеля и при других процессах, связанных с выделением пыли и газов, не протяжении выработки рекомендуется через каждые 300-400 м устанавливать пневмоводяные завесы, состоящие из 4-5 форсунок для периодического включения на время наибольшей интенсивности выделения вредных веществ.

Одна такая завеса по данным [7] снижает запыленность воздушного потока в 1,5-2 раза.

4.37. В некоторых случаях на удается использовать локализующую вентиляцию и гидрообеспыливание и приходится прибегать к местной очистке воздуха пропуском его через пылеуловители. Особенностью таких для условия подземных работ является ограниченность габаритов.

Как правило, пылеуловители не очищают воздух от пыли до допустимого санитарным нормам концентраций, поэтому дополнительно надо организовать вентиляцию, работающую "из разбуждения" вредных веществ.

4.38. Наибольший эффект оздоровления воздушной среды получается от применения комбинированных систем, включающих вентиляцию и гидрообеспыливание.

В приложении 16 дан пример такой комбинированной системы для борьбы с пылью при работе проходческих комбайнов.

Борьба с пылью при бурении в мерзлых породах имеет некоторые особенности, связанные с ограничениями применения воды.

Соответствующие рекомендации даны в приложении Г7.

## 5. ВЫБОР СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ

5.1. При выборе схемы вентиляции тоннельных выработок учитываются графики производства работ, способы ведения последних, в

такие природно-климатические факторы, влияющие на тепловой режим сопротивления в процессе его строительства.

5.2. Основными критериями выбора схем проветривания выработок являются эффективность, экономичность, простота и надежность, эксплуатации вентиляционных устройств, в соответствии с чем целесообразно руководствоваться следующими принципами:

- а)尽可能но использовать сами выработки, как каналы для транспортировки воздуха;
- б) принять минимальное количество необходимых переключений систем с одного режима на другой (например, реверсирование) в процессе производственного цикла;
- в) обеспечить наилучшими гигиеническими условиями рабочие места, расположенные в глубине выработки (что не означает допустимости нарушения санитарно-гигиенических норм в других местах);
- г) исключить по возможности помехи для технологических процессов;
- д) обеспечить соответствующие вентиляционные режимы при всасывании загрязненных ситуаций или быстрого перехода из эти режимов.

Системы вентиляции, ставящих свою первостепенность принципом я гребенками, нет, однако сопоставление различных показателей позволяет дать следующие общие рекомендации.

5.3. Схемы вентиляции тупиковых выработок должны базироваться на принципе перемещения воздуха в одном направлении по тоннелю, а в другом – по воздуховодам.

При проходке буровзрывными способами и существовании выделений вредных веществ по длине выработки наиболее целесообразной является вытяжная система вентиляции, не требующая в нормальном режиме никаких переключений.

По действующим правилам техники безопасности [5] все системы должны быть устроены так, чтобы они могли реверсироваться с расходом воздуха в опрокинутой струе, составляющей не менее 60 % от расхода, требующегося при рабочем режиме.

Это требование может быть удовлетворено следующим образом:

а) при укрупненных вентиляторных узлах – устроив систему клапанов и обходных каналов;

б) переключением направления движения осевых вентиляторов, устанавливаемых на воздуховоде; при существующих характеристиках вентиляторов их производительность в режиме реверса составляет 1/3 от производительности в прямом режиме (вместо требуемых 60 %),

а поэтому приходится рассчитывать требуемую производительность по вредным веществам, затем увеличивать ее в 1,8 раза и подбирать по последней вентиляторы;

в) устройством дублирующих систем, бездействующих в нормальных условиях и включающихся только в аварийных; такое решение может быть целесообразным, например, в случае использования тканевых воздуховодов.

При неблагоприятных климатических условиях возникают некоторые осложнения.

Для выработок, где возможен перегрев, вследствие выделения тепла городами, как правило, наиболее интенсивного в глубине, возможны следующие варианты:

а) основная система - приточная вентиляция, на время прорываения забоя после взрывания зарядов переключаемая на вытяжную;

б) основная система - вытяжная, дополненная местными установками по охлаждению воздуха (эта схема предпочтительнее, однако она реальная только при наличии средств отведения тепла от охладительных установок, например, воды).

Требованиям предотвращения охлаждения выработок лучше отвечает приточная вентиляция; при ее работе через большую часть сечения портала воздух выходит из угла. Однако возникает осложнение в виде разгерметизации системы (это один из вариантов системы); второй - только вытяжной вентиляции, компенсируемой подачей нагретого воздуха у портала (см. п.4.26).

Разработка породы специальными механизмами (комбинированными межвидовыми щитами) связана, как правило, с запыленностью воздуха, для удаления которого предпочтительна вытяжная вентиляция.

Все перечисленные варианты относятся к выработкам, в которых не происходит выделения вредных веществ по длине.

По другому решается вопрос при использовании сводогранпорта, когда принцип обеспечения призабойной зоны свежим воздухом становится превалирующим.

Вынужденным решением здесь является приточная схема с переключением на вытяжную для удаления газов из забоя после взрыва зарядов или при возникновении пожара, когда требования по его тушению обуславливают необходимость движения воздуха по выработке от портала к забою.

Наиболее сложный случай - применение щитомашин в сочетании с работой специальных механизмов по разработке породы. Как указы-

валось, для удаления пыли здесь нужна вытяжная вентиляция, а для выноса вихревых газов автомобилей – приточная.

На настоящем этапе проработки этой задачи предлагается вариант приточной системы (реверсируемой при пожаре), в сочетании с местной (у забоя) вытяжной системой, включающей фильтры для очистки воздуха перед его выбросом в общий воздушный поток, движущийся по выработке от забоя к порталу.

5.4. Для сквозных выработок дополнительно к разобранным вариантам (сквозная выработка всегда может быть разгорожена на две тупиковые) возникает возможность обогнать ее без воздуховодов, создавая поток воздуха по одному из способов, отмеченных в пп.4.22–4.24. Реверсирование системы может осуществляться дублированием вентиляторов, подбором оборудования с повышенным коэффициентом I,8 (п.5.3,б) и устройством систем переключения режимов.

Все ранее сказанные об особенностях приточной и вытяжной систем вентиляции полностью относятся и к схеме проветривания сквозной выработки, при этом одна часть выработки будет находиться в режиме, соответствующем вытяжной вентиляции (движение воздуха от портала к середине тоннеля), вторая – наоборот. При одновременном ведении работ в обеих частях выработки сквозная вентиляция должна рассчитываться на вспомогательную воздушный потоком всех вредных веществ по длине тоннеля.

5.5. Вентиляция системы двух параллельных одновременно сооружаемых выработок, соединяемых сбойками, может рассматриваться как сочетание вентиляции тупиковых выработок (за последней из сбоек) и сквозной вентиляции двух штолен, осуществляющей через сбойку. Может быть несколько вариантов ведения работ в выработках (соответствующие схемы вентиляции даны на рис.14):

а) работы (в том числе транспортировка) ведутся в одной из выработок по всем ее длине; во второй – только на участке от "вентиляционной" сбойки до забоя (такое сочетание соответствует, например, строительству тоннеля с подвойной штоллей, имеющей временное крепление). Если по длине основной выработки нет выделений вредных веществ, то наиболее очевидной является схема проветривания, при которой по указанной выработке воздух направляется от портала к сбойке, а по штолле – в обратном направлении. Забой обеих выработок целесообразно проветривать местной вытяжной вентиляцией с выбросом загрязненного воздуха в поток, идущий по штолле. Эта же схема может быть применена и при использовании автотранспорта, если езда

идет только по штольне (периоды вспышки не совпадают с моментами очищения забоев после взрывов, поэтому во время загазования штольни «продуктами взрыва люди в них отсутствуют»);

б) работы без выделений вредных веществ ведутся по длине каждой из выработок и, следовательно, загрязненный воздух из забоев нельзя направлять ни по одной из них. Нужно устройство вытяжной вентиляции из забоев с выбросом воздуха наружу, то есть с прокладкой воздухохода (или воздуховодов) не всю длину тоннеля. Продуктивность системы сквозной вентиляции должна быть несколько больше, чем вытяжной, чтобы за счет избытка воздуха могла превозиться то выработка, портал которой не является "приточным". При соответствующем значении укрупненного избытка эта система вентиляции применима и для варианта, при котором автомашины движутся по тоннелю, где поток воздуха направлен к порталу;

в) самый трудный для вентиляции случай движения автотранспорта по обеим выработкам. По-видимому, здесь трудно обойтись без приточной вентиляции с забором воздуха снаружи. Так же, как и в случае одиночных выработок, система должна переворачиваться на время очищения забоев от взрывов и при пожаре.

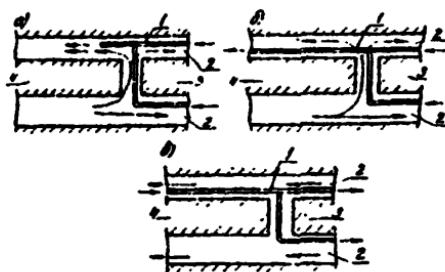


Рис. 14. Схемы вентиляции параллельных выработок с использованием сбойки:  
а - работы (в том числе транспортировка) ведутся в одной из выработок; б - работы без выделения вредностей ведутся в каждой выработке; в - автотранспорт движется по обеим выработкам; 1 - воздуховод; 2 - выработки; 3 - забой; 4 - портал

Во всех разобранных вариантах прокетривания "парных" выработок предполагалось, что длина их тупиковых участков находится в пределах 400 м.

Изоприятия по борьбе с охлаждением выработок через портальи ничем не отличаются от ранее описанных. При наличии избытков тепла ненужный воздух лучше подавать по выработке, имеющей сечение, так как это обусловит его меньший нагрев по пути к забоям.

Большая длина выработок и значительные выделения тепла могут потребовать устройство приточной вентиляции независимо от других факторов.

Приведенные в текст рекомендации по одиночным выработкам собраны в табл. 9.

Эти рекомендации даются не в качестве готовых рецептов на вся случаи проектирования. Цель такой систематизации состоит в том, чтобы дать ориентацию при выборе схемы вентиляции и при оценке вариантов производственных работ и технологий строительных процессов.

Пример расчета вентиляции двух параллельных выработок с движением автотранспорта по каждой из них дан в приложении IV.

Таблица 9

Способ разработки породы	Тип транспорта	Рекомендованные схемы вентиляции одиночных тупиковых выработок с забоями	
		один	две
Нормальные климатические условия			
Буровзрывной	Электрический	/Br+P/ ←→ Пр	/Br+M <sub>2</sub> / ←→ /Пр+M <sub>4</sub> /
	Автомобильный	Пр ————— Вт	/Пр+M <sub>4</sub> / ————— /Br+M <sub>2</sub> /
Резка, рыхление	Электрический	Вт ←→ Пр	/Br+M <sub>2</sub> / ←→ /Пр+M <sub>4</sub> /
	Автомобильный	Пр ————— Вт	/Пр+M <sub>4</sub> / ————— Вт
Высокая температура пород			
Буровзрывной	Электрический	/Br+M <sub>2</sub> +P/ ←→ Пр/Пр—Вт	/Br+M <sub>2</sub> +M <sub>3</sub> / ←→ Пр
	Автомобильный	Пр ————— Вт	/Пр+M <sub>4</sub> / ————— /Br+M <sub>2</sub> /
Резка, рыхление	Электрический	/Br+M <sub>2</sub> / ←→ Пр	/Пр+M <sub>3</sub> +M <sub>4</sub> / ————— /Br+M <sub>2</sub> /
	Автомобильный	/Пр+M <sub>2</sub> / ————— Вт	
Низкая температура наружного воздуха			
Буровзрывной	Электрический	/Br+H <sub>2</sub> +P/ ←→ Пр	/Br+H <sub>2</sub> +M <sub>3</sub> / ←→ Пр
	Автомобильный	/Пр+H <sub>1</sub> / ————— Вт	/Пр+H <sub>1</sub> +M <sub>4</sub> / ————— /Br+H <sub>2</sub> +M <sub>3</sub> /

Продолжение табл. 9

Способ разработки породы	Тип транспорта	Рекомендуемые схемы вентиляции одиночных шахтных выработок с забоями	
		одиниц	двуяя
Резка, рыхление	Электрический автомобильный	/Вт+Н <sub>2</sub> / ← Пр /Пр+Н <sub>1</sub> +М <sub>1</sub> /← Вт /Вт+М <sub>2</sub> +М <sub>3</sub> /	/Вт+Н <sub>2</sub> +М <sub>3</sub> / ← Пр /Пр+Н <sub>1</sub> +М <sub>1</sub> +М <sub>4</sub> / —

Условные обозначения:

Вт - вытяжная вентиляция; —— — реверсирование основной схемы в другую при рабочих режимах; —— — реверсирование при оверидном режиме; Пр - приточная вентиляция; М - местная вентиляция по схеме на рис. 15, б; Н - заслонки от охлаждения по схеме на рис. 15, а; (+) - объединение одной части схемы с другой; Р - рециркуляция по схемам М<sub>1</sub>-М<sub>2</sub> или М<sub>3</sub> на рис. 15.

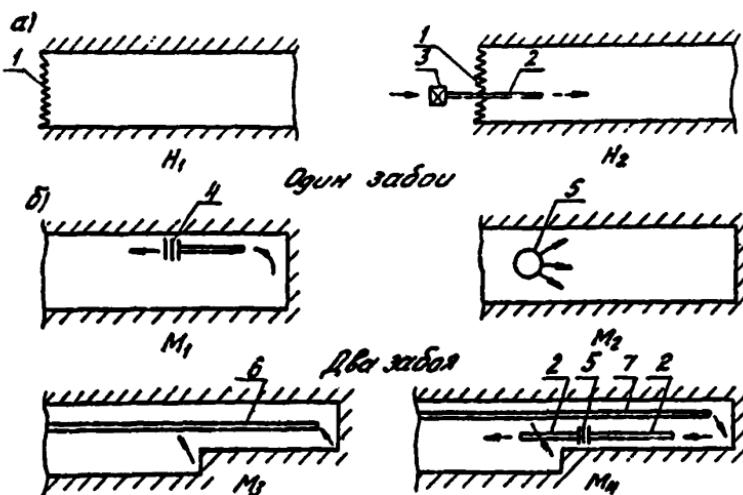


Рис. 15. Схема теплозащиты и размещения местных отопительно-вентиляционных установок:  
 а - заслонки порталов от охлаждения наружным воздухом; б - местные вентиляционные системы в забоях; 1 - воздушно-тепловая заслонка или шлюз; 2 - воздуховод; 3 - приточная установка с нагревом воздуха; 4 - воздушный фильтр; 5 - рефрижератор; 6 - воздуховод с двумя заслонками воздуха; 7 - воздуховод с двумя выпускими воздуха

## 6. ГЛУШЕНИЕ ШУМА ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ УСТАНОВОК

6.1. Комплексная система глушения шума вентиляционных установок должна состоять из двух глушителей, установленных на "входе" и "выходе" вентилятора, и звукоизолирующих рубашек двигателей и вентилятора (рис. I6).

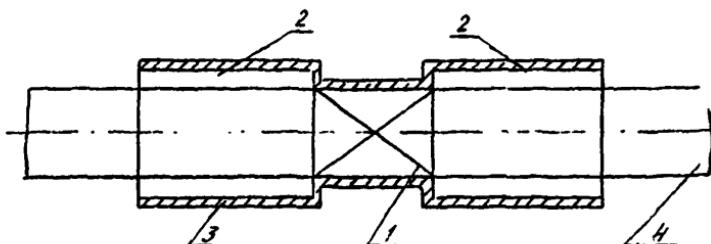


Рис. I6. Комплексная система глушения шума вентиляционных установок:  
1 - вентилятор; 2 - глушители; 3 - звукоизолирующие рубашки; 4 - воздуховод

## 6.2. Рекомендуются резонансные глушители (рис. I7).

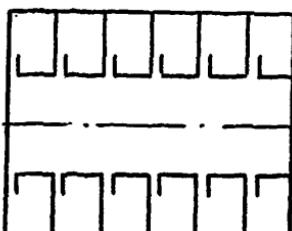


Рис. I7. Принципиальная геометрическая схема резонансного глушителя

штампованием. Рекомендуется изготавливать глушители из стеклопластиков, например, из холста стекловолокнистого I категории качества толщиной 0,5-0,8 мм ВВ-АМ ТУ-21 БССР 203-78 в 3-4 слоя и эпоксидной смолы ЗД-20 ГОСТ 10587-76 с отвердителем поливинилфталоатом.

6.3. Оптимальные геометрические размеры резонансных глушителей рассчитываются по программе на ЭВМ (Информационный бюллетень алгоритмов и программы Госстандарт СССР №5(49) 1982 N 005 432). В табл. 10 даны геометрические размеры глушителей для типичных радиусов воздуховодов 250, 300 и 400 мм.

6.4. Глушители изготавливаются из любых приемлемых материалов, со реплицирующей геометрическую форму глушителей в процессе выплавления. Рекомендуется изготавливать глушители из стеклопластиков, например, из холста стекловолокнистого I категории качества толщиной 0,5-0,8 мм ВВ-АМ ТУ-21 БССР 203-78 в 3-4 слоя и эпоксидной смолы ЗД-20 ГОСТ 10587-76 с отвердителем поливинилфталоатом.

Таблица 10

Радиус воздухо- вода, мм	Радиус глушите- ля, мм	Эффектив- ность глу- шителя, дБ	Интервал частот, Гц	Ширина горловина резонатора, мм	Длина горловина резонатора, мм	Длина резонан- тора, мм	Число ре- зонаторов	Длина глушителя, мм
250	500	25	63-125 125-250	12,5	101	237	7	1659
		30	63-125 125-250			59	13	767
		35	63-125 125-250			237	8	1896
		40	63-125 125-250			59	15	885
300	600	25	63-125 125-250	15	121	237	9	2153
		30	63-125 125-250			59	17	1003
		35	63-125 125-250			237	10	2370
						59	19	1121
		25	63-125 125-250			198	8	1584
		30	63-125 125-250			49	15	735
		35	63-125 125-250			198	9	1782
						49	18	882
		25	63-125 125-250			198	10	1980
						49	20	980

Продолжение табл.10

Радиус воздухо-вода, мм	Радиус глушите-ля, мм	Эффектив-ность глу-шителя, дБ	Интервал частот, Гц	Ширина горловинка резонатора, мм	Длина горловинка резонатора, мм	Длина резонан-тора, мм	Число ре-зонаторов	Длина глушителя, мм
400	800	40	63-125 125-250			198 49	11 23	2178 1127
		25	63-125 125-250			148 37	10 20	1480 740
		30	63-125 125-250	20	162	148 37	12 24	1776 888
		35	63-125 125-250			148 37	14 27	2072 999
		40	63-125 125-250			148 37	15 30	2220 1110

6.5. Звукоизолирующие рубашки гидроизоляций и вентилятора представляют собой сплошную конструкцию, в которой должны усугубляться звука и отверстия.

6.6. Звукоизолирующие рубашки рекомендуют изготавливать из материала фольгомоза (ГОСТ 5.2053-73), который представляет собой слой битумного материала - масла, покрытый с одной стороны алюминиевой фольгой, а с другой - полистироловой пленкой, изготовленной заводом кровельных и полимерных материалов (г.Москва). Между рубашками и внешними стенками гидроизоляции и вентилятора высаживают один леска. Толщина слоя песка при звукоизолации не менее 20 мм по всем нормируемым интервалам частот должна быть не менее 20 мм (рис. 18).

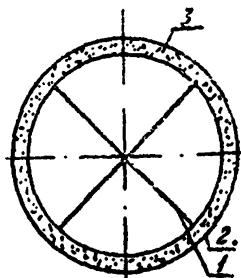


Рис. 18. Возможная конструкция сплошной звукоизолирующей рубашки:  
1 - гидроизоляция или вентилятор; 2 - армирующий цилиндр из фольгомоза; 3 - ячейк

## Приложение I

**ХАРАКТЕРИСТИКИ ОСНОВНЫХ ГАЗОВЫХ ПРИЯСЕЙ В ВОЗДУХЕ РАБОЧЕЙ ЗОНЫ  
ТОННЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК**

№ п/п	Видство, хими- ческая формула, основные процес- сы, при которых выделяется	Относи- тельная плот- ность	Предель- но допус- тимые концен- трации (ПДК)* мг/м <sup>3</sup>	Макс- ималь- ная опас- ность	Агрегат- ное сос- тояние	Физические свойства	Физиологическое действие
I	Углерод окись, CO При длительности экспозиции, ч 8 1 0,5 0,25	0,97	20 50 100 200	4	Газ	Не имеет цвета, запаха, вкуса. В воде практи- чески нераство- рим. Химически устойчив	Вытесняет кислород из тромохобиций и вызыва- ет кислородное голоданье. Систематическое вдыхание загрязненно- го воздуха портит вселу- хе приходит к ястой- чному перерождению крови. Смертельно опас- ная концентрация 2500 мг/м <sup>3</sup>

# п/п	Ведущие химические формулы, основные процессы, при которых выделяется	Относительная плотность	Предельно допустимые концентрации (ПДК), мг/м <sup>3</sup>	Класс опасности	Агрегатное состояние	Физические свойства	Биологическое действие
2	Автотоксичны, NO <sub>x</sub> , SO <sub>x</sub> , NO <sub>y</sub> <sup>2</sup> (приходится к NO <sub>2</sub> ) Высокая зависимость от экспозиции Взрывные работы, сварка, работы двигателей внутреннего сгорания	1,59	5	2	Газ	Имеет острый цвет, острый запах. Смесь с воздухом может расслаиваться. Активно растворяется в воде	Раздражает слизистые оболочки дыхательных путей и глаз, отравляющее действие оказывается из сразу, в первые часы времени после экспозиции (от 4 до 30ч). Смертельная концентрация 500 мг/м <sup>3</sup>
3	Акролеин CH <sub>2</sub> C=CH <sub>2</sub> Работа двигателей внутреннего сгорания (один из альдегидов)	1,50	0,2	2	Жидк.	Не имеет цвета, запах горелого масла. Хорошо растворяется в воде	Раздражает слизистые оболочки. Смертельная концентрация 150 мг/м <sup>3</sup>

п/п	Воздействие, химическая формула, основные процессы, при которых выделяется	Относительная плотность	Предельно допустимое концентрация (ПДК), мг/м <sup>3</sup>	Класс опасности	Агрегатное состояние	Характер изысканий	Санитарическое действие
4	Альдегиды (сложные органические соединения)  Формальдегид НСОН Образуется при работе двигателя внутреннего сгорания	От 1,50 до 5,70	5,0  1,04	2 и 3  0,5	Пары	Специальный запах. Давно растворим в воде	Раздражает слизистые оболочки, вызывает изъязвление кожи, нарушает пищеварение
5	Углерод диоксида  Дыхание людей, взрывные работы, работа двигателей внутреннего сгорания, сварка	1,52	1000	-	Газ	Бесцветен. Сильный кислоточный запах. Годорствующий. Может откладываться	Вызывает кислородную недостаточность. Смертельно опасная концентрация 20 000 мг/м <sup>3</sup>
6	Сернистый ангидрид	2,22	10	3	Газ	Бесцветен. Запах специфический. Водорствующий. Может откладываться	Раздражение дыхательных путей и глаз. Смертельно опасная концентрация 1450 мг/м <sup>3</sup>

# п/п	Вещество, хими- ческая формула, основные процес- сы, при которых выделяется	Относи- тельная плот- ность	Предельно допусти- мые кон- центрации (ПДК) мг/м <sup>3</sup>	Класс опас- ности	Агрегат- ное сос- тояние	Физические свойства	Биологическое действие
7	Кислород	I, II	286·10 <sup>3</sup> (не ме- нее)	-	Газ	Бесцветен, без за- паха, практически не растворяется в воде	недостаток вызывает кис- лородное голодание. Смертельно опасная кон- центрация может 140·10 <sup>3</sup> мг/м <sup>3</sup> (12 % по объему)
8	Озон	I, 66	0, I	I	Газ	Бесцветен. Име- ет специфиче- ский запах. Хоро- шо водорастворим	Газдражает слизисты- е оболочки

1. Увеличение ПДК может учитываться только в тех случаях, если между периодами экспозиций имеются перерывы не менее 2 ч.

2. В некоторых источниках даны значения ПДК для  $N_2O_3$ ; для пересчета этих ПДК на  $NO_2$ , величины первых надо умножить на 0,85.

3. ПДК, приведенные в ПТБ [1], устарели и с выпуском ГОСТ 12.1.005-76 не должны применяться во внимание.

## Приложение 2

**ХАРАКТЕРИСТИКИ ОСНОВНЫХ ПЫЛЕВЫХ ПРИМЕЗЕЙ (АЭРОЗОЛЕЙ) В ВОЗДУХЕ  
ТОЧЕЧНЫХ БУРЫБОТОК**

№ п/п	Пыль	Предельно допустимая концентрация (ПДК) мг/м <sup>3</sup>	Класс опасности	Физиологическое действие
I	Кремнесодержащая с содержанием свободной двуокиси кремния ( $SiO_2$ ) более 70 % (квар- цит, динас и др.)	I	3	Уплотнение легочных тканей, частичное растворение в пос- ступающем в кровь в виде ядо- витой кремниевой кислоты ( $H_2SiO_3$ )
	с содержанием $SiO_2$ от 10 до 70 % (франит, шамот, сланец и др.) от 2 до 10 % (сланцы, углеродистая пыль, глины и др.)	2 4	4	Действие кристаллической пыли усугубляется остроконечной формой пылинок, способствуя их внедрению в живые ткани
2	Силикаты и силикатосодержащие есбестопородные пыли с содержанием асбеста более 10 % тальк, слюда-флогонит, мусковит и др. цемент, оливин, эпратит, форстерит, глине (при содержании $SiO_2 < 2 \%$ )	2 4 6	4 4 4	То же действие, но без образо- вания $H_2SiO_3$ ; пыль легче от- деляется от легочных тканей (по сравнению с кремнесодер- жащей)
3	Сварочные аэрозоли	4	4	Уплотнение легочных тканей, пос- ступление в кровь ядовитых сое- динений мергелина, латона и дру- гих присадок

**Приложение 3**  
**МЕТЭРОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ В РАБОЧЕЙ ЗОНЕ  
 ТОННЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК**

№ п/п	Параметр	Едини- цы из- мерения	Допустимые зна- чения		Оптималь- ные зна- чения
			минимум	максимум	
1	Температура воздуха	°C	+2	+25	16-18
2	Скорость движения воздуха в горизонтальных и наклон- ных выработках  в стволах, по которым под- нимаются и опускаются люди	м/с	0,1	-	0,3-0,5
3	Влажность воздуха	%	-	-	40-60

## Приложение 4

**ХАРАКТЕРИСТИКИ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ, ВЫДЕЛЯЕМЫХ ПРИ СВАРКЕ В ТОЧЕСТВЕННЫХ  
ВЫРАБОТКАХ**

п/п	Виды сварочных работ	Через электро- дов	Сила тока	Аэррозоль		<i>Nu</i>		Коэффи- циент че- рвяковар- ности <i>K<sub>u</sub></i>
				Интенсив- ность, мг/с	Оличе- ство в 1 кг электро- дов/кг	Интенсив- ность, мг/с	Оличе- ство на 1 кг, мг/кг	
1	Монтаж кронштейнов под оборудование	МР-3	160	2,94	11,3	1,0	4500	0,33
2	Монтаж металлоконструкций	ОСС-4	200	10,50	19,2	0,7	1370	0,51
3	Устройство освещения (подвески и пр.)	МР-3	60	1,80	24,4	1,0	4500	0,17

## Приложение 5

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСХОДОВ ВОЗДУХА ПРОДОЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ВЕНТИЛЯЦИИ И СИСТЕМЫ С СПРЕДЕЛЕННОЙ РАЗДАЧЕЙ ПРИ АВТОМОБИЛЬНОЙ ВОЗКЕ ПОРОДЫ И МАТЕРИАЛОВ В ВЫРАБОТКЕ

Последовательность операций расчета следующая:

1. Подсчитывается безразмерная величина  $\lambda$  по формуле

$$\lambda = \frac{v \Delta t}{l_{\text{шп}}},$$

где  $l_{\text{шп}}$  - длина выработки, м;

$v$  - средняя скорость движения автомобилей по выработке, м/с;

$\Delta t$  - временной интервал между машинами, проходящими по выработке в каком-либо одном направлении, с.

2. Подсчитывается безразмерная величина

$$\xi = \frac{f_{\text{шп}} v (c_{\text{шп}} - c_0)}{q (c_e - c_0)},$$

где  $f_{\text{шп}}$  - площадь поперечного сечения выработки,  $\text{м}^2$ ;

$c_{\text{шп}}$ ,  $c_e$  и  $c_0$  - концентрация определяющей вредности соответственно: предельно допустимая величина в воздухе выработки, в отработавших газах автомобили и фоновая (т.е. в воздухе, забираемой снаружи системой вентиляции),  $\text{мг}/\text{м}^3$ ;

$q$  - расход отработавших газов одной машиной,  $\text{м}^3/\text{с}$ .

3. По графикам рис.1 и 2 на оси абсцисс находится подсчитанная величина  $\lambda$ , восстанавливается перпендикуляр к этой оси до пересечения с кривой, соответствующей величине  $\xi$  (при промежуточном значении  $\xi$  делается интерполяция между кривыми) и из полученной точки проводится прямая, параллельная оси абсцисс до пересечения с осью ординат, где находится величина  $\bar{w}$ .

4. Из выражения  $\bar{w} = \frac{v}{U}$  определяется «скорость

движения воздуха по выработке в ее конце, считая от портала, м/с.

5. Определяется расход по формуле

$$L = L_{\text{шп}} u, \text{ м}^3/\text{с}.$$

6. Если принята система с раздаткой воздуха, то расчет продолжают, определяя  $\lambda_i$ ,

$$\lambda_i = \frac{v \Delta t}{l_i},$$

где  $l_i = l_{\text{шп}} - \Delta l_i$ , м;

$\Delta l_i$  - расстояние от забоя до ближайшего к нему выпуска воздуха (не считая выпуска у самого забоя), м;

$v$  и  $\Delta t$  - те же, что и ранее.

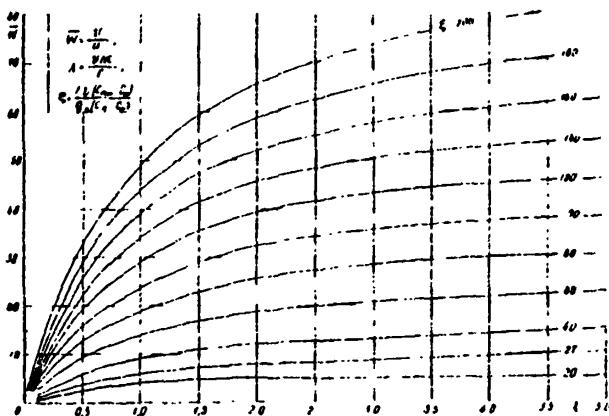


Рис.1. График расчета вентиляции участка выработки с забоями, в котором работает несколько автомашин

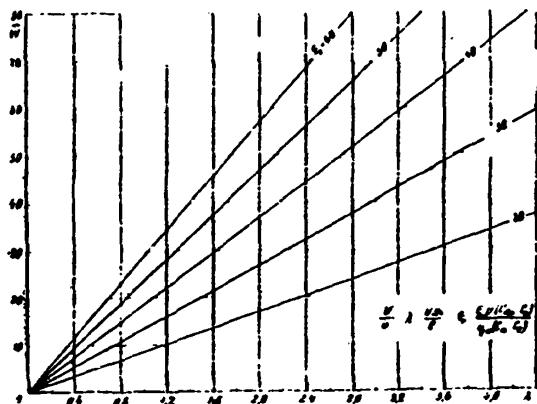


Рис.2. График расчета вентиляции промежуточного участка выработки при работе нескольких автомашин

С помощью гра́нников на рис.1 и 2 по  $\lambda$ , и  $\zeta$  находим  $W_s$ , в этом ви́числением и  $L_s$ .

Ко́личество воздуха, выпукаемого в выработку у забоя, опреде́ляется

$$\Delta L = L_s - L_1, \text{ м}^3/\text{с.}$$

7. Аналогично определяют ко́личество воздуха, выпукаемого на расстоянии  $r_1$  от портала

$$\Delta L_1 = L_1 - L_2, \text{ м}^3/\text{с}$$

и т.д.

Графики рис.1 и 2 учтывают неравномерность движения машин по выработке, необходимость мене́врирования у забоя, а также реалии в создаваемых концентрациях вредных веществ при следовании трёхпотрота по направлению воздушного потока и против него.

### Приимки

#### А. Условия.

Вывозка взорванной породы при строительстве однопутного же́лезнодорожного тоннеля осуществляется с помо́щью автомашины ДР-60, мощностью 60 л.с. и грузоподъёмностью 6 т.

Объём взорванной породы в рыхлом теле  $110 \text{ м}^3$ , плотность поро́ды  $2,4 \text{ т}/\text{м}^3$ .

Время на уборку породы после одного взрыва по графику прои́зводства работ - 3 ч.

Площадь поперечного сечения выработки в обделке  $47 \text{ м}^2$ .

Наибольшая длина выработки  $l_{mp} = 2000 \text{ м}$ .

Скорость движения автомашины  $v = 10 \text{ км}/\text{ч} = 2,8 \text{ м}/\text{с.}$

Концентрация определяющих вредных веществ в наружном воздухе

$C_0 = 0$

Б. Задача.

Найти расходы воздуха по участкам системы с разпределенной раздачей при выпусках из расстояниях от портала  $l_{mp} = 2000 \text{ м}$ ,  $l_1 = 1400 \text{ м}$ ,  $l_2 = 900 \text{ м}$ ,  $l_3 = 400 \text{ м}$  (рис.3).

В. Решение.

Определяем временной интервал между машинами

$$\Delta t = \frac{6 \cdot 3 \cdot 3600}{110 \cdot 2,4} = 245 \text{ с.}$$

I. Подсчитываем  $\lambda$  для участка  $l = 2000 \text{ м}$

$$\lambda = \frac{v \Delta t}{l_{mp}} = \frac{2,8 \cdot 245}{2000} = 0,35.$$

2. Подсчитываем  $\xi$ , имея в виду, что мощность двигателей ДР-60 равна 60 л.с.

$$\xi = \frac{f_{\text{расп}} v (C_{\text{вн}} - C_{\text{в}})}{q_a (C_{\text{в}} - C_{\text{в}})} = \frac{47 \cdot 2,8 \cdot 20}{60 \cdot 0,0009 \cdot 1800} = 27$$

(значения  $q_a$  и  $C_{\text{в}}$  взяты по п.2.5).

3. По графику рис. I  $\bar{w} = 3$ .

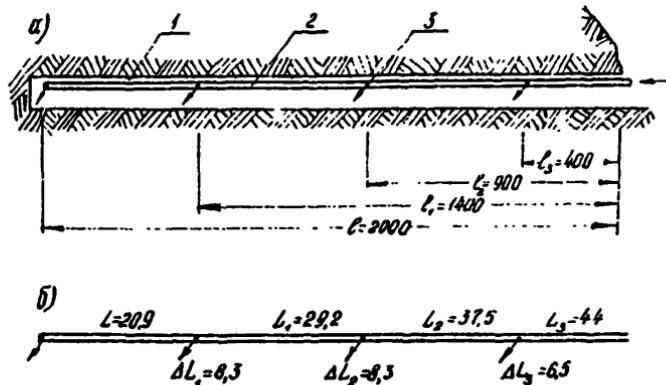


Рис.3. Схема распределенной раздачи воздуха:  
а – расчетные участки; б – распределение воздуха;  
1 – выработка; 2 – воздуховод; 3 – выпуски воздуха.  
Длины  $L$  показаны в м; расходы  $L$  и  $\Delta L$  в  $\text{м}^3/\text{с}$

4. Скорость движения воздуха по выработке на участке при продольной вентиляции

$$u = \frac{v}{\bar{w}} = \frac{2,8}{3} = 0,93 \text{ м/с.}$$

5. Расход воздуха

$$L = f_{\text{расп}} u = 47 \cdot 0,93 = 44 \text{ м}^3/\text{с.}$$

6. Определяем  $\lambda$ , для участка длиной  $L_1 = 1400 \text{ м}$

$$\lambda_1 = \frac{2,8 \cdot 245}{1400} = 0,49.$$

По графику рис.2  $\bar{w} = 5,7$ ;  $u_1 = \frac{2,8}{5,7} = 0,49 \text{ м/с.}$

$$L_1 = 47 + 0,49 = 23,1 \text{ м}^3/\text{с}.$$

7. Спредоложим аналогичным способом параметры для участков

$L_2 = 900$  м и  $L_3 = 400$  м и получаем:

$$u_2 = 0,32 \text{ м/с}; \quad L_2 = 14,8 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$u_3 = 0,14 \text{ м/с}; \quad L_3 = 6,5 \text{ м}^3/\text{с}.$$

8. Вычисляем значения расходов воздуха по местам расположения:

в конце воздуховода (у забоя)

$$\Delta L = L - L_1 = 44 - 23,1 = 20,9 \text{ м}^3/\text{с};$$

на расстоянии 1400 м от портала

$$\Delta L_2 = L_2 - L_1 = 23,1 - 14,8 = 8,3 \text{ м}^3/\text{с};$$

на расстоянии 900 м от портала

$$\Delta L_3 = L_3 - L_1 = 14,8 - 6,5 = 8,3 \text{ м}^3/\text{с};$$

на расстоянии 400 м от портала

$$\Delta L_4 = 6,5 \text{ м}^3/\text{с}.$$

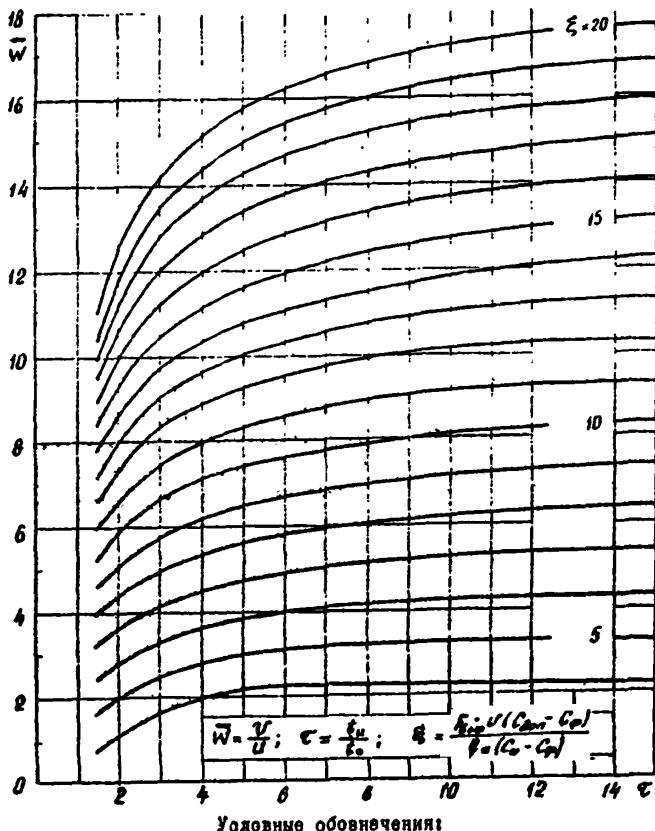
9. Схема раздачи воздуха показана на рис.3.

Величины расходов получены для конечного момента проходки.

В процессе строительства, пока выработка съез из достигла конечной длины, расходы должны меньше, но места выпуска воздуха должны устраиваться сразу же заранее рассчитанных расстояниях.

Приложение 6

ГРАФИК РАСЧЕТА ВЕНТИЛЯЦИИ ВЫРАБОТОК, В КОТОРЫХ  
РАБОТАЮТ ОДНОЧАСТНЫЕ АРТОМАШИНЫ (ШОАЗ) ПРИ ДЛИНЕ МАССОВОГО



Условные обозначения:

$U$  – скорость движения транспортного средства;  
 $u$  – скорость движения воздуха;  $t_u$  – время прохода транспортом расчетного участка в обе стороны;  $L$  – продолжительность одного транспортного цикла;  $q_0$  – площадь поперечного сечения выработки;  $q_0'$  – расход выхлопных газов

**Приложение 7**

**НОМЕНКЛАТУРА СТАЛЬНЫХ ВОЗДУХСВОДОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ  
В РУДНИЧНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ**

Диаметры 400; 500; 600; 700; 800; 900; 1000 и 1200 мм.

Длина звена 3; 3,5; 4 м.

Толщина стекки при диаметре до 600 мм включительно - 2 мм,  
свыше 600 мм - 2,5 мм.

## ВЫБОР ДИАМЕТРА ВОЗДУХОВОДА

График служит для подбора экономически оптимального диаметра стального воздуховода в зависимости от его конечной длины и расхода воздуха. Число вентиляторов, установленных между из воздуховодом группой или распределительной, не влияет на выбор диаметра.

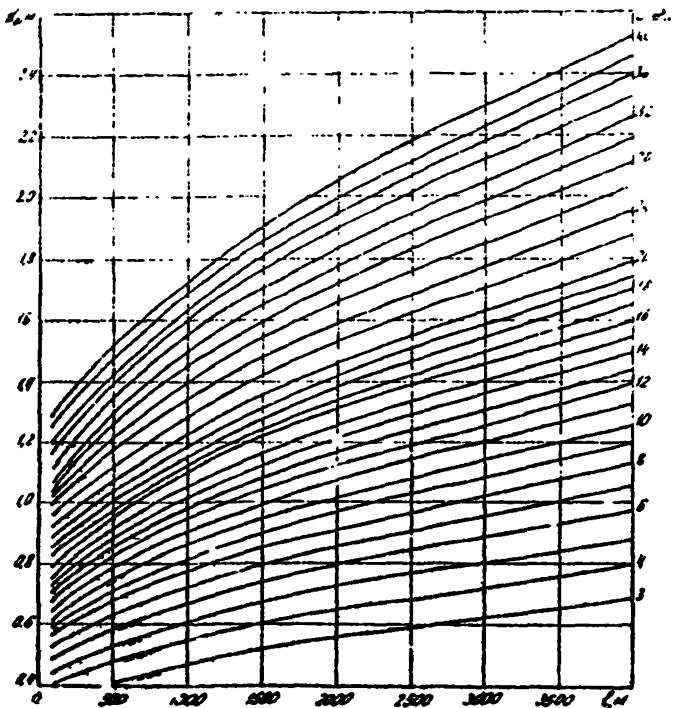


График подбора оптимального диаметра стального воздуховода

Номограмма построена для постоянного расхода воздуха в конце воздуховода (т.е. в месте отсоса или выпуска воздуха); при переменном расходе, зависящем от длины воздуховода (например, при автомо-

большой воздуха, когда чем длиннее воздуховод, тем больший нужен расход), оптимальный диаметр определяется следующим образом.

Конечная длина воздуховода  $\ell$  делится на несколько равных участков  $n$ , каждый из которых длиной  $\frac{\ell}{n}$ , и определяются требуемый расход в конце каждого участка, считая от пропорциональных длины. Таким образом, если требуемый расход воздуха в конце воздуховода длиной  $\ell$  равен  $L$ , то в конце первого участка он равен  $\frac{L}{n}$ , второго  $\frac{2L}{n}$ , третьего  $\frac{3L}{n}$  и т.д.

Для каждого из этих расходов и соответствующих им длии ( $\frac{\ell}{n}, \frac{2\ell}{n}, \frac{3\ell}{n}$  и т.д.) подбирая по nomogramme значение оптимального диаметра.

Затем определяем среднюю арифметическую величину, которая и является искомой.

Например, надо подобрать диаметр для воздуховода, конечная длина которого  $\ell = 1800$ .

Взаимодействие имеет место оптимальная высота; при длине воздуховода 1800 м надо подавать в засыпь воздуха  $L = 9 \text{ м}^3/\text{s}$ .

Делим длину воздуховода и расход воздуха на три части.

для первого участка  $\ell_1 = 600 \text{ м}; L_1 = 3 \text{ м}^3/\text{s}$ ;

для второго  $\ell_2 = 1200 \text{ м}; L_2 = 6 \text{ м}^3/\text{s}$ ;

для третьего  $\ell_3 = 1800 \text{ м}; L_3 = 9 \text{ м}^3/\text{s}$ .

Соответственно по nomogramme находим  $d_1 = 0,4 \text{ м}; d_2 = 0,75 \text{ м}; d_3 = 0,95 \text{ м}$ .

Среднее арифметическое

$$d = \frac{0,4 + 0,75 + 0,95}{3} = 0,7 \text{ м.}$$

Для таких труб экономически оптимального диаметра в пределах имеющегося сортимента не существует. Чем больше их сечения, тем меньше приведенные затраты.

## Приложение 9

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧИСЛА УСТАНОВКИ ВЕНТИЛЯТОРОВ НА ВОЗДУХОВОДАХ

Расстоянка вентиляторов на воздуховоде производится по расчетному количеству воздуха из рабочей концы воздуховода и его характеристикам (аэродинамическому сопротивлению  $\lambda$  и коэффициенту воздухопроницаемости  $k_0$ ).

Длины участков, определяющих местоположение вентиляторов, находятся по nomogrammам рис. I-9. Nomogramмы построены следующим образом. В координатах  $h$  (статическая длина) и  $L$  (расход воздуха) вычерчены характеристики металлических воздуховодов различных диаметров и длии. На каждой характеристикие даны числовые значения коэффициентов утечки воздуха  $\psi$ .

Каждая nomogramма построена для определенных диаметров воздуховода  $d$ , и, длины этого трубы воздуха  $L$ , и коэффициента воздухопроницаемости  $k_0$ , значение которого приведено в табл. 6 основного текста.

В таких же координатах приведены характеристики некоторых вентиляторов, например, Проходно-б/6 и СВУ-6 (в приложении даны характеристики других вентиляторов).

Определение места установки вентиляторов на воздуховоде, например, находящемся под разрежением, сводится к следующему. На оси абсцисс (рис. I) берется данный по расчету расход воздуха из вытяжного конца воздуховода  $L_3$ . Пересечение параллелюара, восстановленного из точки  $L_3$  (например,  $L_3 = 6,06 \text{ м}^3/\text{с}$ ) с характеристикой вентилятора дает некоторую точку  $A$ , находящуюся между характеристиками воздуховодов определенной длины. Затем берут на ближайший характеристики трубопровода соответствующее значение коэффициента утечки воздуха  $\psi$ . Это значение коэффициента умножают на заданное по расчету количество воздуха  $L_3$ , получают значение расхода воздуха  $L_4 = \psi L_3 = 1,051 \cdot 6,06 = 6,37 \text{ м}^3/\text{с}$ , которое соответствует производительности вентилятора для данной длины воздуховода. Это новое значение  $L_4$  ( $6,37 \text{ м}^3/\text{с}$ ) откладывают на оси абсцисс и восстанавливают к ней параллелюар до пересечения с характеристикой вентилятора в точке  $B$ . Затем смотрят, какая характеристика трубопровода ближе всего лежит к указанной точке пересечения с характеристикой вентилятора. В примере с  $L_4 = 6,37 \text{ м}^3/\text{с}$  подходит трубопровод длиной 320 и с коэффициентом утечки  $\psi = 1,039$ .

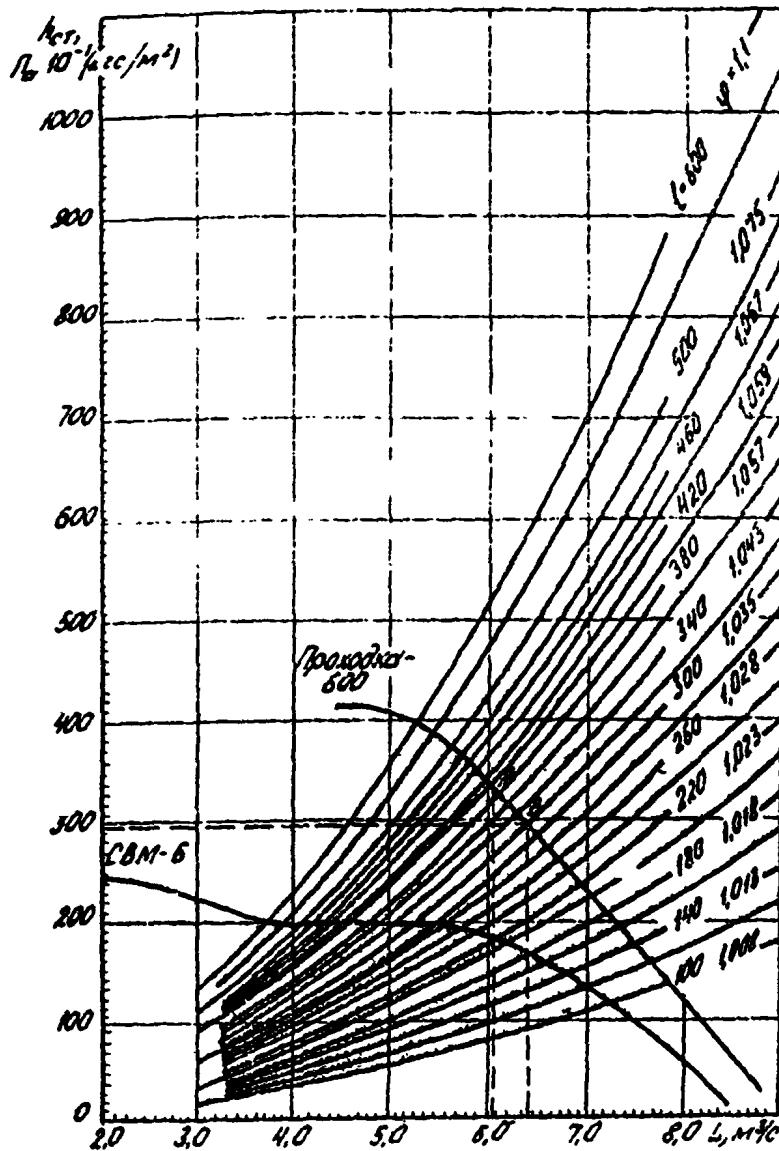


Рис. 1. Воздуховоды с  $d = 0,6 \text{ м}$ ;  $m = 9 \text{ м}$ ;  
 $n_a = 0,001$

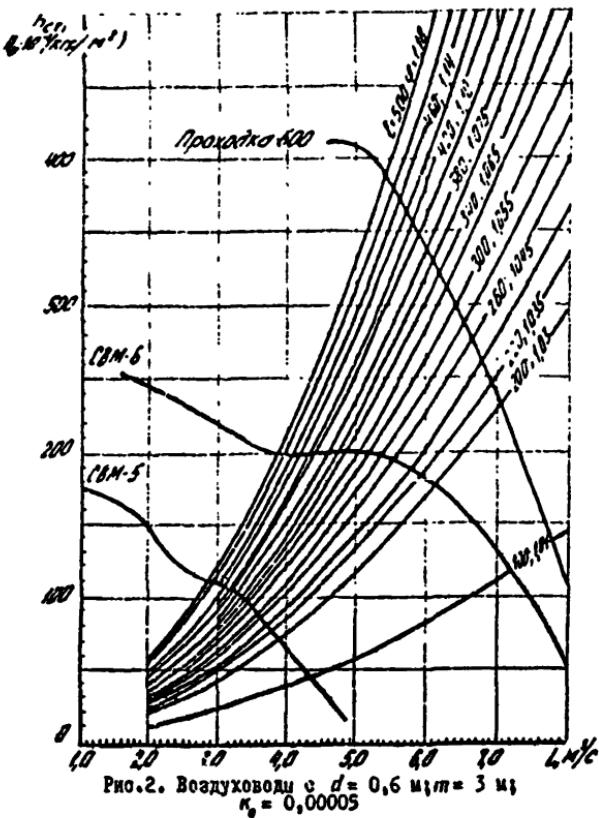


Рис.2. Воздуховоды с  $d = 0,6 \text{ м}$ ;  $m = 3 \text{ м}$ ;  
 $\kappa_0 = 0,00005$

Если точка  $B$  далеко отстоит от характеристики сети, подбирают новую характеристику сети (другую длину трубопровода) с новым значением коэффициента  $\psi$ . Построение повторяют до тех пор, пока о требуемой точности точка не попадет в пересечение характеристики воздуховода и вентилятора. Это точка укажет, на каком расстоянии следует размещать вентилятор от конца воздуховода или от предыдущего вентилятора.

По nomogrammi на рис. I-9 можно определять такое сопротивление сети и осуществлять подбор вентилятора в случае установки его только у портала.

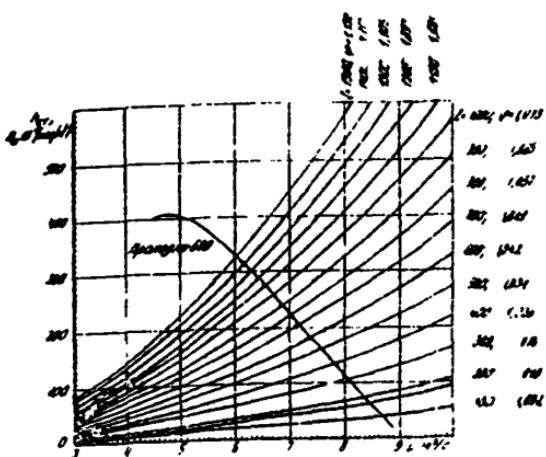


Рис.3. Воздуховоды с  $d = 0,8 \text{ м}$ ;  $m = 9 \text{ м}$ ;  $k_0 = 0,00005$

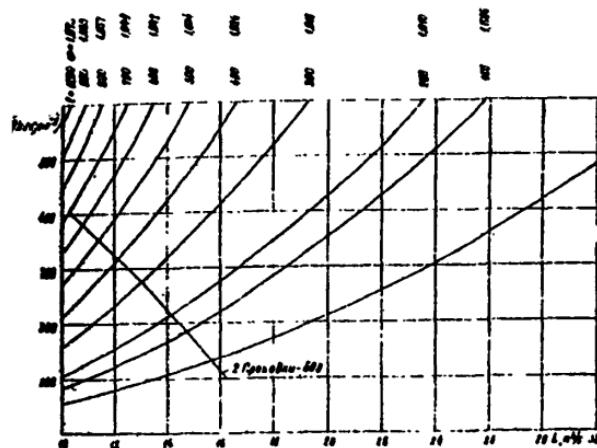


Рис.4. Воздуховоды с  $d = 0,8 \text{ м}$ ;  $m = 9 \text{ м}$ ;  $k_0 = 0,00005$   
(продолжение номограммы рис.3)

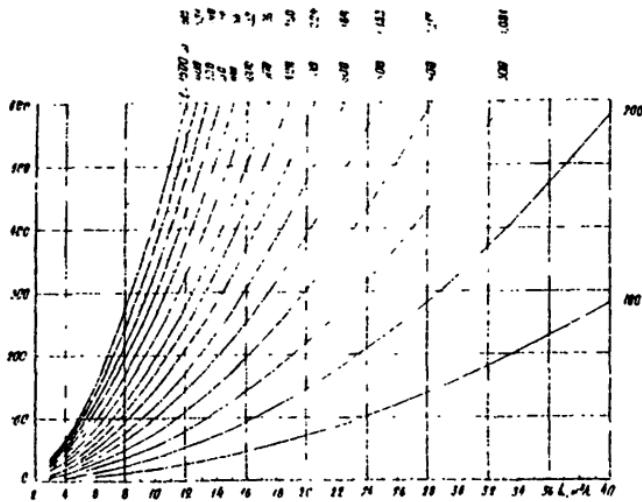


Рис.5. Воздуховоды с  $d = 1,0 \text{ м}$ ;  $m = 3 \text{ м}$ ;  $k_0 = 0,001$

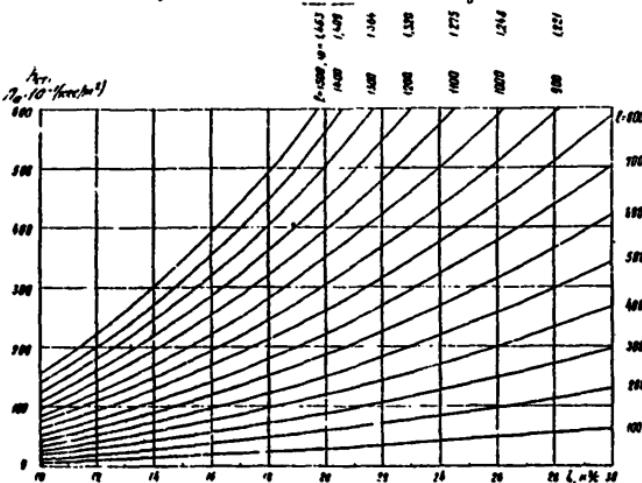


Рис.6. Воздуховоды с  $d = 1,2 \text{ м}$ ;  $m = 3 \text{ м}$ ;  $k_0 = 0,001$

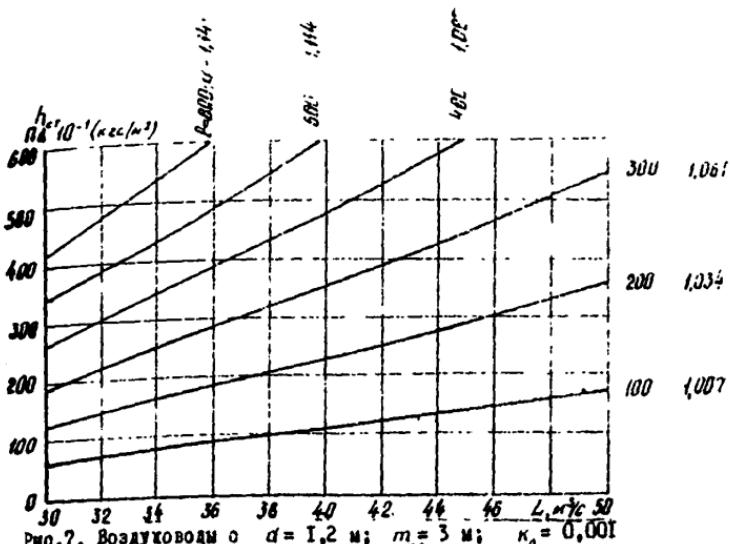


Рис.7. Воздуховоды с  $d = 1,2 \text{ м}$ ;  $m = 3 \text{ м}$ ;  $\kappa_0 = 0,001$   
(продолжение номограммы рис.6)

Для более точного расчета, а также для воздуховодов, размеры которых не предусмотрены номограммами, можно пользоваться формулами

$$h = \pi \varphi L^2, \quad \text{Па (кгс/м}^2\text{)};$$

$$R = 0,5 \alpha \frac{d^3}{m}, \quad \frac{\text{Па}\cdot\text{с}^2}{\text{м}^6} \left( \frac{\text{кгс}\cdot\text{с}^2}{\text{м}} \right);$$

$$\varphi = \left( \frac{1}{3} \kappa_0 E \frac{d}{m} \sqrt{R} + 1 \right)^2,$$

$\alpha$  - коэффициент сопротивления воздуховода;

для  $d$  от 0,5 до 0,7 м  $\alpha \cdot 10^4 = 82 \frac{\text{Па}\cdot\text{с}^2}{\text{м}^6} \left( 3,2 \frac{\text{кгс}\cdot\text{с}^2}{\text{м}} \right);$

от 0,8 до 0,9 м  $\alpha \cdot 10^4 = 27 \frac{\text{Па}\cdot\text{с}^2}{\text{м}^6} \left( 2,7 \frac{\text{кгс}\cdot\text{с}^2}{\text{м}} \right);$

от 1 до 1,2 м  $\alpha \cdot 10^4 = 20 \frac{\text{Па}\cdot\text{с}^2}{\text{м}^6} \left( 2,0 \frac{\text{кгс}\cdot\text{с}^2}{\text{м}} \right)$

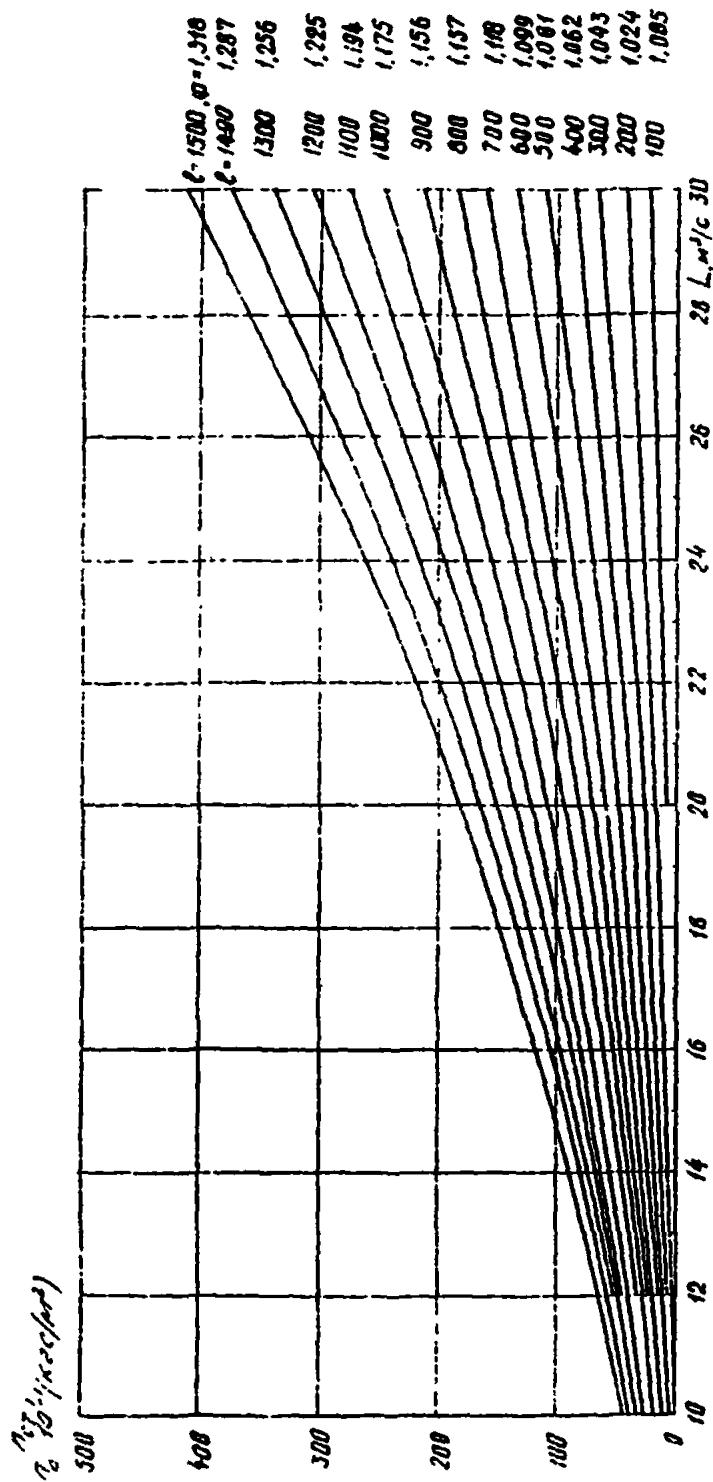


Рис.8. Воздуховоды с  $\alpha' = 1,5$  и  $m = 34$ ;  $\kappa_n = 0,001$

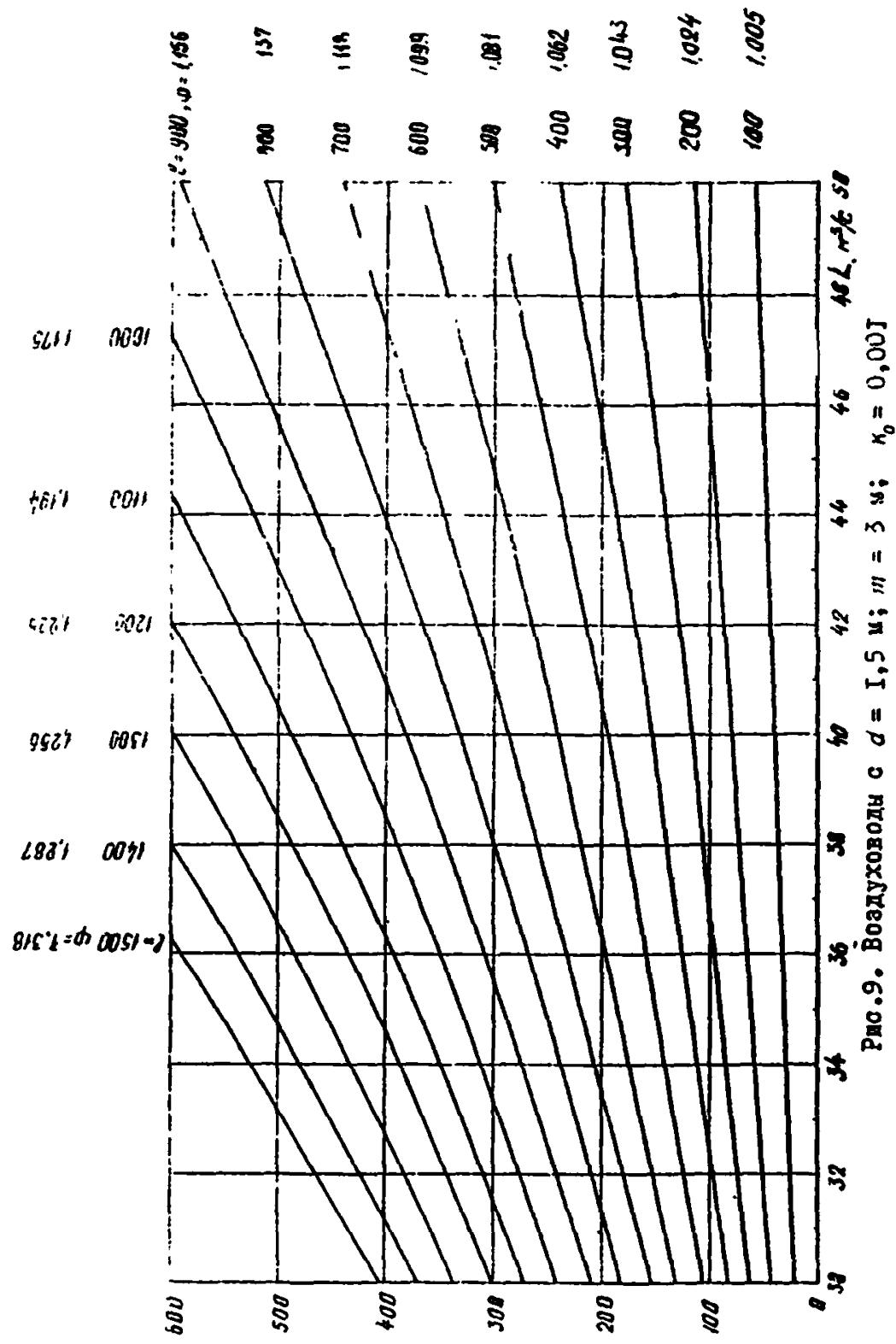


Рис.9. Воздуховоды с  $d = 1,5 \text{ м}$ ;  $m = 3 \text{ кг}$ ;  $k_0 = 0,001$

## Приложение 1С

## ХАРАКТЕРИСТИКИ ТКАНЬЕВЫХ ТРУБ

Тип труб	Основа	Покрытие	Масса $1m^2$ материала, кг	Срок службы, мес.
МУ	Чафэр	Двухстороннее погорячей резиной	1,5	22-24
ПХВ	- " -	Двухстороннее полихлорвиниловое	1,2-1,4	24-28
ПХВ-К	Высокопрочный капрон	Одностороннее полихлоркиноловое	1,0-1,1	28-30
ЧЛХВ	Комбинированная ткань	Двухстороннее полихлорвиниловое	1,0-1,2	26-28
ЧЛХР	То же	Двухстороннее погорячей резиной	1,1-1,2	26-28
ЛХВ	Лавсон	Одностороннее полихлорвиниловое	-	28-30
ЧЛХВ-У	Комбинированная ткань	Двухстороннее поливинилхлоридной смесь с добавлением углекислоты	1,0-1,2	26-28

Диаметры выпускаемых труб 400, 500, 600, 800, 1000 и 1200 мм.

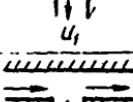
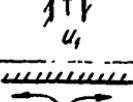
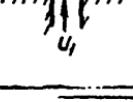
Длина звеньев для диаметров 400 и 500 мм - 5, 10, 20, 30 м  
40 м;

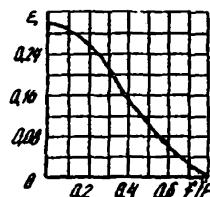
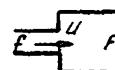
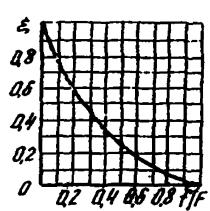
для диаметров 600 мм - 5, 10, 20 м;

для диаметров 800-1200 мм - 5 и 10 м.

Приложение II

КОЭФФИЦИЕНТЫ МЕСТНЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ  
ВЫРАБОТКИ

№/п	Название, форма	Коэффициент местного сопротивления	
		Значения $\zeta$ стеснены к скорости $u_1$	$u_2$
I	Сопряжения		
		$\zeta = 3,6$	$\zeta = 0,4$
		$\zeta = 2,0$	-
		$\zeta = 2,0$	-
		$\zeta = 2,6$	$\zeta = 0,6$
		$\zeta = 2,5$	-
		$\zeta = 1,5$	-

№/п	Название, форма	Коэффициент местного сопротивления												
2	<b>Внезапное сужение</b> 	Значения $\zeta$ относены к скорости $u$ в сечении $f$  <table border="1"> <caption>Data points estimated from graph</caption> <thead> <tr> <th>F/F</th> <th><math>\zeta</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0.2</td><td>0.25</td></tr> <tr><td>0.4</td><td>0.15</td></tr> <tr><td>0.6</td><td>0.10</td></tr> <tr><td>0.8</td><td>0.08</td></tr> <tr><td>1.0</td><td>0.05</td></tr> </tbody> </table>	F/F	$\zeta$	0.2	0.25	0.4	0.15	0.6	0.10	0.8	0.08	1.0	0.05
F/F	$\zeta$													
0.2	0.25													
0.4	0.15													
0.6	0.10													
0.8	0.08													
1.0	0.05													
3	<b>Внезапное расширение</b> 	Значения $\zeta$ относены к скорости $u$ в сечении $f$  <table border="1"> <caption>Data points estimated from graph</caption> <thead> <tr> <th>F/F</th> <th><math>\zeta</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0.2</td><td>0.45</td></tr> <tr><td>0.4</td><td>0.35</td></tr> <tr><td>0.6</td><td>0.25</td></tr> <tr><td>0.8</td><td>0.20</td></tr> <tr><td>1.0</td><td>0.15</td></tr> </tbody> </table>	F/F	$\zeta$	0.2	0.45	0.4	0.35	0.6	0.25	0.8	0.20	1.0	0.15
F/F	$\zeta$													
0.2	0.45													
0.4	0.35													
0.6	0.25													
0.8	0.20													
1.0	0.15													
4	<b>Поворот под прямым углом с острыми кромками</b> 	$\zeta = 1,4$												

## Приложение 12

### СПОСОБЫ УПЛОТНЕНИЯ ВОЗДУХОВОДОВ

Повышенная воздухопроницаемость воздуховодов обычно обнаруживается в процессе их эксплуатации (хотя дефект мог возникнуть и при сборке), когда перемонтаж съзлен с нарушением вентиляции и прекращением проходки.

В ряде случаев восстановление герметичности возможно без перерывов или с короткими перерывами функционирования вентиляции, позволяющими продолжать строительные работы.

В таблице приведены основные причины повышенных утечек или подсосов и даны рекомендации по их снижению.

Надо иметь в виду, что отыскание мест дефектов и их устранение, как правило, более трудоемки, нежели тщательный монтаж воздуховодов сначала.

№/п	Причина дефекта	Способы устранения
<b>А. Стальные воздуховоды</b>		
<b>Монтажные дефекты</b>		
1	Непроваренный шов	Запаковать нитрошпаклевкой, склеить место выдумкой Замазать кабельной мастикой (см.примечание 1)
2	Нагодный материк для прокладок между фланцами (мелкая щеличина недостаточной упругости)	Для одиночного стыка; облобить болты, расклинивать концы труб, закопотить пенькой или концами зевов между фланцами, замазать его кабельной мастикой или зачеканить разворачивающимся цементом (РЦ), вынуть клинья, подтянуть облобленные болты без метата (см.примечание 2) Для многих отыков; проконопатить каждый стык (см.описание для одиночного стыка), высушить, обмазать кабельной мастикой, оклеить маляриной, покрасить сверху кабельной мастикой (см.примечание 3)
3	Порванная межфланцевая прокладка	Зачеканить место разрыва кабельной или концами, пропитанными кабельной мастикой

№/п	Причина дефекта	Способы устранения
4	Вмятины на фланцах	Вмятины зачищать РЦ
5	Помятые концы труб при сваривании соединений	При небольших вмятинах снять бандаж, выправить впадину износившим из нее нужного количества слоев материала (применимого для прокладки) (см. примечание 4) При наличии выпуклости (вмятины с внутренней стороны) снять бандаж, выправить бугор кувалдой и устраниить неровности
6	Несоизпадающая овальность труб	Снять бандаж, дополнительно уложить слой прокладочного материала тк., чтобы его стык был сдвинут на менее чем на 1/4 окружности от стыка ранее поставленного материала
7	Недостаточное прилегание прокладочного материала к трубам  Слабая затяжка болтов бандажа	Снять бандаж и прокладку, усилить заново, заменив последнюю  Затянуть болты
<b>Эксплуатационные дефекты</b>		
8	Оседка опор воздуховода при фланцевом соединении	Ослабить болты, выровнить воздуховод на опорах установкой прокладок (так, чтобы не было перегиба воздуховода), затянуть болты
9	Оседка опор воздуховода при бандажном соединении	Снять бандаж, выровнить воздуховод, уложить дополнительный прокладочный слой (см. п.6), поставить бандаж
10	Механические повреждения (помятость околовстыковых участков)	Снять болты с фланцев или бандаж, вынуть звено, выправить его и поставить на место
11	Расстройство стыков (старение прокладок, см. примечание 5)	В бандажном соединении заменить прокладку, при фланцевом соединении см. п.2

п/п	Причина дефекта	Способы устранения
I	<p style="text-align: center;"><b>Б. Тканевые воздуховоды</b></p> <p>Пропуск воздуха в стыках. Недостаточное натяжение воздуховода</p>	<p>Увеличить статическое давление в воздуховоде, поставив на выходе из него диафрагму</p>
2	Износоустойчивое покрытие из ткани	Поставить заплаты соответствующие инструкции по эксплуатации

**П р и м е ч а н и я:** 1. Кабельная мастика готовится из нефтяного битума марки 5 - 3 части машинного масла (можно отработанного) марки АС-8 1 часть и латекса (желательная добавка) 0,2 части.

Состав верится до окончания выделения пены и наносится в жидком состоянии.

В качестве заменителя может применяться бутепрок.

2. Чешуйки должна закрывать гребни фланцев и прилегающие к ним участки трубопроводов на ширину не меньшую, чем 5 см и по всей поверхности быть приклеенной; покрытие мастики мастикой сверху должно быть такой толщины, чтобы структура ткани не была видна;

3. Наличие выпадов и достаточность их накрепления целесообразно устанавливать о помощи заблона, имеющего форму неполного полукольца.

4. Стерение и обкатка прокладок особенно вероятны при фланцевых соединениях, вследствие многократных многопрежних температурных деформаций воздуховодов.

## Приложение 13

## ХАРАКТЕРИСТИКИ ОСНОВНЫХ ВИДОВ ВЕНТИЛЯТОРОВ

Параметры	Еди- нство изме- рения	Типоразмеры		
		Л.И.П-4	ВИП-5	ВИП-3
Диаметр рабочего колеса	мм	400	500	300
Производительность	м <sup>3</sup> /мин	85	120	45
Давление	Па(кгс/м <sup>2</sup> ) <sup>*</sup>	1400 (140)	1500(150)	1250(125)
Коэффициент полезного действия вентиляторов		0,70	0,71	0,65
Рабочее давление скатого воздуха(воды)	мПа(кгс/см <sup>2</sup> )	0,5(5)	0,5(5)	
Расход скатого воздуха(воды)	м <sup>3</sup> /мин	4	6	
Габаритные размеры:	мм			
длина		300	350	-
высота		556	680	450
ширина		500	660	450
Масса	кг	50	75	Проект

\* Здесь и далее при указании величин давления (упора) в новой и старой системах измерений принято, что 1 кгс/м<sup>2</sup> = 10 Па.

Аэродинамические характеристики вентиляторов, рекомендуемых в том же масштабе, приведены на рис. I-8.

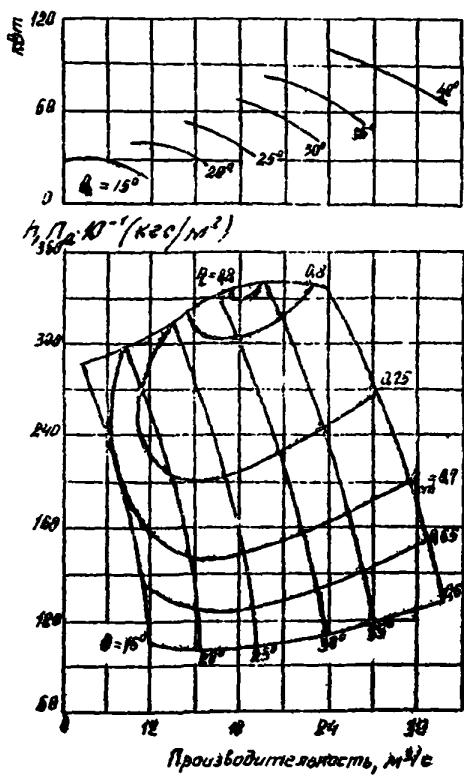


Рис. I. Аэродинамические характеристики вентилятора ВОД-II при  $n = 1420$  об/мин

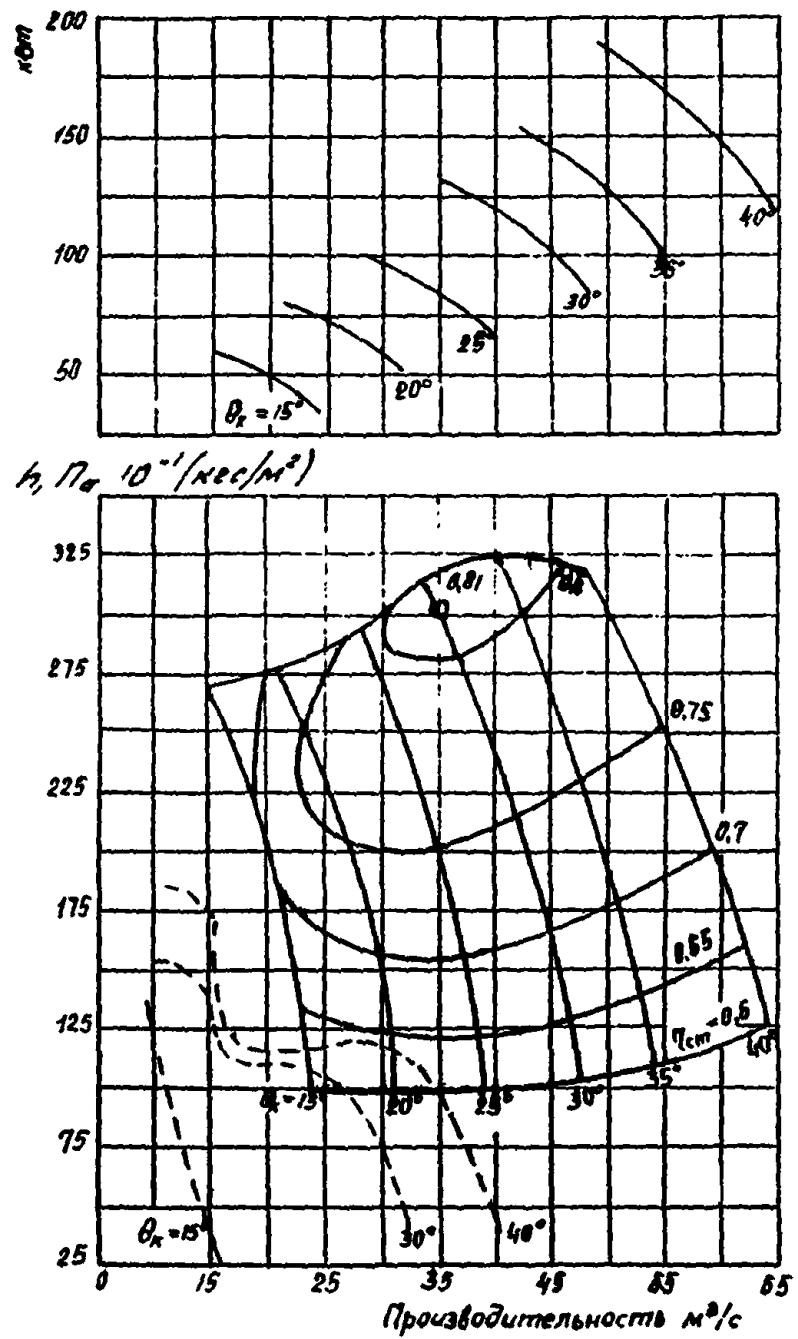


Рис.2. Аэродинамические характеристики вентилятора ВОД-16 при  $n = 980$  об /мин

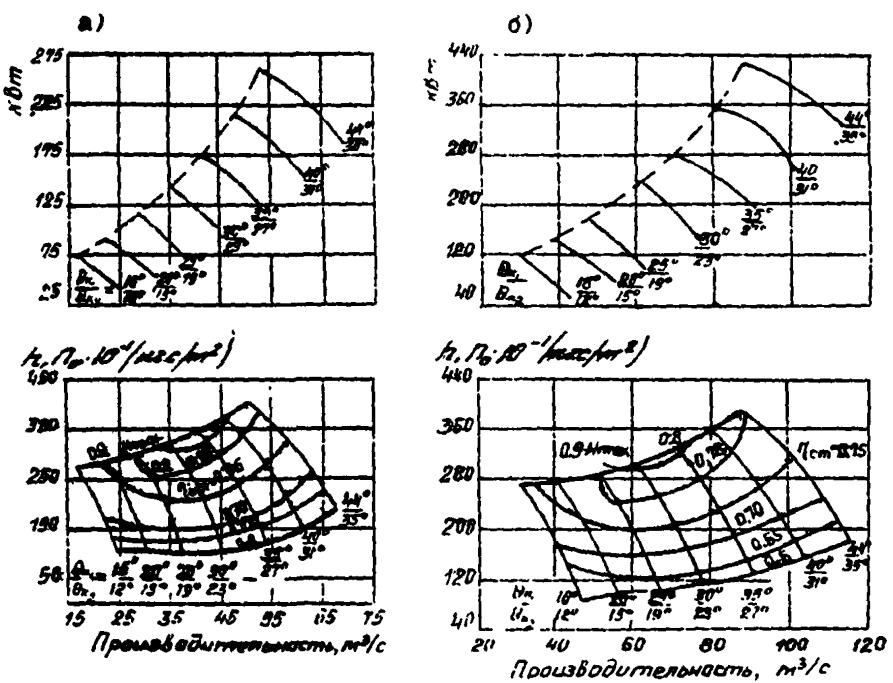


Рис. 3. Аэродинамические характеристики вентиляторов:  
а - BBB-16 при  $n = 980$  об/мин; б - BBB-21 при  
 $n = 750$  об /мин

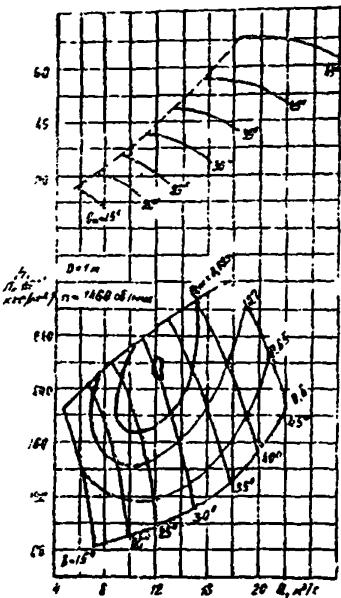


Рис.4. Аэродинамические характеристики вентилятора ВОКД-1,0 при  $n = 1460$  об /мин

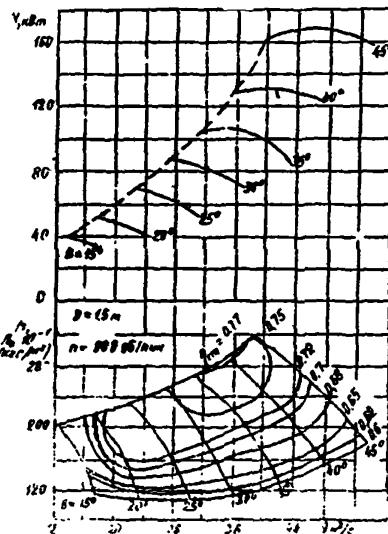


Рис.5. Аэродинамические характеристики вентиляторов ВОКД - I,5 при  $n = 980$  об/мин

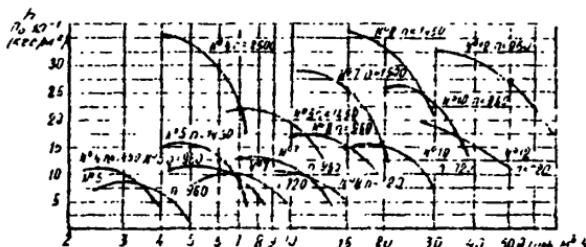


Рис.6. Аэродинамическая характеристика вентиляторов III

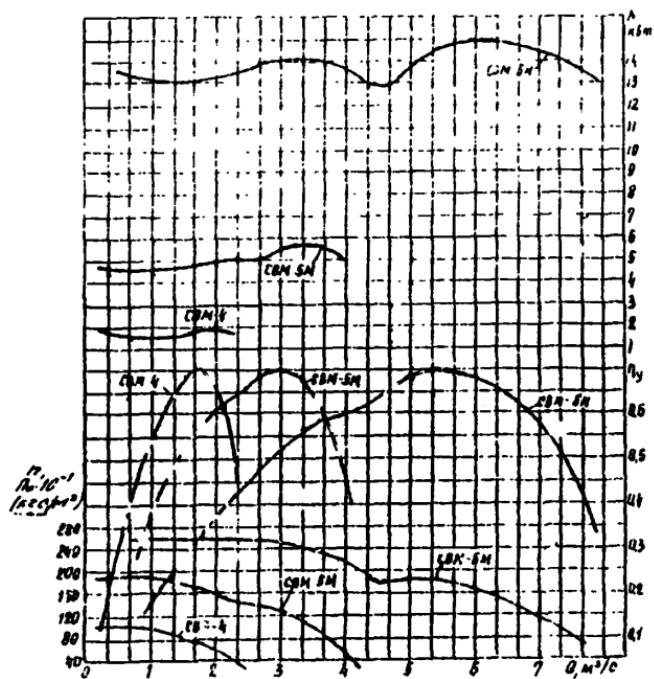
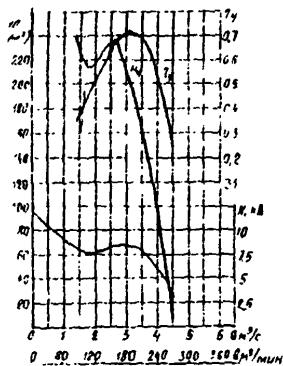


Рис.7. Аэродинамические характеристики вентиляторов СВМ



Фиг. 8. Аэродинамические характеристики вентилятора "Бирючка-500-2И"

### Приложение 14

#### ПРИМЕР РАСЧЕТА ЦОЧНОСТИ КАЛОРИФЕРОВ ДЛЯ НАГРЕВА ВЕНТИЛЯЦИОННОГО ВОЗДУХА

**А с х ы д н и е д ы н н и я е:**

Диаметр выработки .....  $\varnothing = 8,5 \text{ м}$ ;  
 Периметр выработки .....  $P = 26,69 \text{ м}$ ;  
 Площадь поперечного сечения .....  $A_p = 56,72 \text{ м}^2$ ;  
 Эквивалентный радиус .....  $R_e = 4,25 \text{ м}$ .

Первоначальная температура породы, окружающей выработку,  $t_0 = +5^\circ\text{C}$ ; коэффициент теплопроводности  $k = 1,9 \text{ ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot 0^\circ\text{C})$  ( $= 1,23 \text{ вт}/(\text{м}^2 \cdot 0^\circ\text{C})$ ), коэффициент температуропроводности  $a = 7,50319 \text{ м}^2/\text{ч}$ .

В склоне осуществляется принудительная вентиляция. Диаметр воздуховода  $\varnothing = 4,7 \text{ м}$ ; периметр его  $L = 2 \text{ м}$ . По воздуховоду подается  $\dot{m} = 10800 \text{ м}^3/\text{ч}$  воздуха. Расчетная температура наружного воздуха  $t_n = -42^\circ\text{C}$ . В выработке следует обеспечить температуру не ниже  $t_g = 10^\circ\text{C}$ . Длина выработки  $L_{\text{вып}} = 2500 \text{ м}$ ; срок строительства — 4 года или  $t_p = 35040 \text{ ч}$ .

Требуется определить мощность калориферных установок.

Температура нагрева воздуха в калориферах  $t_{\text{наг}}$  вычисляется по формуле (30)

$$t_{\text{наг}} = t_g + \frac{M(\varrho'' + 1)}{\varrho'' + 1 + 2M} (t_g - t_n), \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Определяем

$$M = 8,5 \frac{P}{L} = 8,5 \cdot 2500 \frac{2,2}{10800} = 4,33;$$

$$\varrho'' = 75,94.$$

Для определения величины  $M$  рассчитываем коэффициент изотермического теплообмена породы с воздухом выработки по формуле (31):

$$k = 1,3 \cdot \frac{\lambda \left( 1 + 0,27 \sqrt{\frac{a_n t_p}{R_n^2}} \right)}{0,88 \sqrt{a_n t_p} + \frac{\lambda_n}{a_n}} =$$

$$0,25 \text{ ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot 0^\circ\text{C}) (0,27 \text{ вт}/(\text{м}^2 \cdot 0^\circ\text{C})).$$

Здесь

$$\alpha_n = 4,5 \frac{L^{0,9} D^{0,2}}{P} = 4,5 \frac{30,8 \cdot 26,69^{0,2}}{56,72} = \\ = 4,5 \frac{2,41 \cdot 1,92}{56,72} = 0,37 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$$

или  $\alpha = 0,32 \text{ ккал}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}) (0,37 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}))$ .

Следовательно,

$$M = 2,88 \frac{\kappa_c P}{L} = 2,88 \cdot 2500 \frac{0,27 \cdot 26,69}{10800} = 4,75.$$

Отсюда

$$t_{\text{ног}} = 10 + \frac{4,75(75,94+I)}{75,94+2 \cdot 4,75} (10-5) = 10+2I, I=3I, I=0^\circ\text{C}.$$

Определяем мощность калориферных установок по формуле (29)

$$Q_n = 0,3L (t_{\text{ног}} - t_n) = 0,35 \cdot 10800 (3I, I+42) \approx 27000 \text{ Вт}.$$

## Приложение 15

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ ГИДРОБЕСПЫЛИВАНИЯ

Средства борьбы с пылью	Эффективность
<b>Бурение</b>	
Бурение с промывкой	0,90-0,95
Нагнетание воды в породный массив	0,50-0,65
Бурение с применением кольцевого оросителя	0,75-0,90
Комплексное применение нагнетания воды в породу с кольцевым оросителем	0,92-0,95
<b>Взрывание</b>	
Нагнетание воды в породный массив	0,65-0,85
Внешняя водяная забойка	0,60-0,70
Внутренняя водяная забойка	0,65-0,80
Орошение при забойной части выработки перед взрыванием	0,20-0,30
Водяные завесы перед взрыванием и после него при использовании:	
механических оросителей	0,60-0,70
туманообразователей	0,70-0,80
Комплексное применение средств пылеподавления:	
туманообразователи с водяной завесой из форсунок	0,88
туманообразователи с орошением при забойной части выработки перед взрыванием	0,92
нагнетание воды в массив с внутренней водяной забойкой	0,90-0,94
нагнетание воды в массив с внешней водяной забойкой	0,82-0,90
внутренняя водяная забойка с внешней	0,81-0,83
<b>Погрузка</b>	
Увлажнение отбитой породы перед погрузкой	0,75-0,80
Многократное увлажнение породы в период погрузки	0,80-0,85
Установка оросительной системы на погрузочной машине	0,80-0,85

Средства борьбы с пылью	Эффективность
Комплексное применение увлажнения отбитой породы перед погрузкой с установкой бросительной системы на мельнице	0,91-0,95
Нагнетание воды в массив, туманообразователи, внутрённяя и внешняя водяные забойки	0,80-0,87

При мечание. Эффективность средства обесспичивания называется величина, равная отношению

$$I = \frac{\Delta A}{A} ,$$

где  $I$  - интенсивность выделения при процессах, для которых вре́мя, или начальная концентрация пыли при ее залежевых выбросах без каких-либо средств пылеподавления;  $\Delta A$  - интенсивность или концентрация пыли при использовании данного средства гидробесспичивания.

## Приложение 16

## БОРЬБА С ПЫЛЬЮ ПРИ РАБОТЕ КОМБАЙНОВ

При проходке тоннелей с использованием комбайнов ПК-9р и 4ПП-2 со стrelovидным исполнительным органом основными процессами, при которых в бездушную среду тоннеля выделяется пыль, является разработка забоя, погрузка и транспортировка породы.

Основными средствами борьбы с пылью при разработке забоя являются встроенные в комбайны установки пылевыведения, состоящие из фильтраторного устройства и пылеуловителя, и поставляемые комплексно с комбайном 4ПП-2 передвижные пылеулавливающие установки ППУ-2.

Технические характеристики этих средств приведены в таблице.

Технические характеристики	Единицы измерения	Комбайн		Установка ППУ-2
		ПК-9р	4ПП-2	
Производительность по отсосу воздуха	м <sup>3</sup> /мин	180	180	75-350
Присос воды	л/мин	140	150	32
Установленная мощность	кВт	56	56	40
Эффективность	%	98,3	98,8	92

Поскольку выбрасываемый пылеуловителями комбайнов воздух содержит некоторое количество пыли, то для предотвращения ее накопления в призабойной зоне и распространения по тоннелю загрязненный воздух следует удалять из забоя всасывающим воздуховодом. Количество удаляемого воздуха должно быть не менее производительности пылеулавливающей установки комбайна, а скорость притока свежего воздуха по выработке к забою при этом должна находиться в пределах 0,3-0,6 м/с. Это позволит создать нормальные санитарно-гигиенические условия в призабойной зоне тоннеля и предотвратить распространение пыли из забоя в тоннель.

С целью предотвращения циркуляции загрязненного воздуха от места выброса из пылеуловителя к всасывающему патрубку пылеулавливающей установки и недопущения всасывания чистого приточного воздуха вытяжным воздуховодом, воздухозаборный патрубок вытяжного воздуховода следует располагать на участке комбайнового комплекса между всасчиком и выхлопом пылеулавливающей установки.

Для борьбы с пылью при механизированной погрузке породы на транспортные средства применяются оросительные устройства различных конструкций, поставляемые заводами-изготовителями в комплекте с погрузочными машинами. Оросительное устройство погрузочной машины состоит из форсунок, фильтра, вентиля, средств блокировки и автоматизации орошения, манометра и системы разводки воды. Форсунки оросительных устройств устанавливаются на близком расстоянии (0,4–0,6 м) от источника образования пыли. Расход воды на оросительные устройства погрузочных машин определяется по формуле

$$G_{\text{вод}} = g_{\text{вод}} A_m, \text{ л/мин},$$

где  $g_{\text{вод}}$  – удельный расход воды на 1 м<sup>3</sup> погружаемой горной массы  
( $g_{\text{вод}} = 40$ – $50$  л/мин);

$A_m$  – максимальная производительность машины, м<sup>3</sup>/мин.

Для борьбы с пылью при транспортировке горной массы конвейерными линиями применяются плоскоструйные эJECTорЫ или конусные форсунки с автоматическим включающим устройством. Места перегрузок горной массы на конвейерных линиях оборудуются типовыми укрытиями из металла или изгнестойкого материала с отсосом загрязненного воздуха и орошением пересыпаемой породы.

Количество отсасываемого из укрытия воздуха от 70 до 100 м<sup>3</sup>/мин; удельный расход воды 15 л/т.

## Приложение 17

### БОРЬБА С ПЫЛЬЮ ПРИ БУРЕНИИ ШПУРОВ В МЕРЗЛЫХ ПОРОДАХ

#### I. Применение воды

Отрицательная температура породы сама по себе не является преградой для применения воды в целях промывки шпуров при бурении. Необходимо, чтобы температура воды и режим ее подачи были такие, при которых не было бы образования льда. В горнодобывающих выработках это вполне реально, так как температура воздуха в них не должна опускаться ниже  $2^{\circ}\text{C}$ .

В этих условиях минимальное значение температуры воды, поступающей в скважину определяется условием:

$$\pi \cdot \frac{t_w^2 - t_{\text{ш}}^2 + \frac{\pi d_s^2}{4} \frac{t_w - t_{\text{ш}}}{\alpha}}{t_w^2 - t_{\text{ш}}^2} = \frac{1 - \omega}{1 - \omega} \cdot \frac{d_s \lambda_w K_w C_w}{4} (t_{\text{ш}} - t_w) \cdot \frac{\pi d_s^2 \cdot t_w \lambda_w C_w}{2 \pi t_{\text{ш}}^2 + \pi d_s^2 \alpha t_w}$$

где

$d_s$  и  $C_w$  – соответственно весовой расход, кг/л, и удельная теплоемкость воды, кДж/(кг· $^{\circ}\text{C}$ ) (ккал/(кг· $^{\circ}\text{C}$ ));

$t_w$  и  $t_{\text{ш}}$  – температура воды на входе в штангу и на выходе из шпуря,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$t_w$ ,  $\rho$  и  $C_p$  – соответственно температура,  $^{\circ}\text{C}$ , плотность, кг/ $\text{м}^3$ , и удельная теплоемкость породы, кДж/(кг· $^{\circ}\text{C}$ ) (ккал/(кг· $^{\circ}\text{C}$ ));

$d_s$  и  $\ell$  – диаметр и длина шпуря, м;

$\alpha$  – коэффициент теплоотдачи от воды стекле шпуре

$$\alpha = 5,7 \frac{(u_w)}{d_s^{1/2}} \cdot 87 / (\text{м}^2 \cdot \text{Ч}) (4,9 \frac{(u_w)}{d_s^{1/2}} \cdot 110 / (\text{м}^2 \cdot \text{Ч}))$$

Здесь  $u_w$  – скорость движения воды в шпуре, м/с;

$d_s$  – эквивалентный диаметр шпуря, м.

$u_{\text{шт}}$  – скорость суржик скважины, м/ч;

$\omega$  – объемная влажность породы (льдостость) в десяти единицах;

$r$  – удельная теплота плавления льда, кДж/кг (ккал/кг);

$\lambda$  – плотность воды, кг/ $\text{м}^3$ ;

значения температуру воды на выходе из шпуря и геометрические характеристики скважины и теплофизические константы породы, можно определять требуемую температуру воды на входе в буровую штангу. Самым неблагоприятным моментом будет окончание бурения, когда диаметр  $\ell$  является наибольшим.

П р и м е р I.

Дано:  $d_w = 0,042$ ;  $L_w = 4$  м;  $V_{w,p} = 0,6$  м/мин = 36 м/ч;  
 $\gamma_w = 2800$  кг/м<sup>3</sup>;  $C_w = 0,92$  кДж/кг·°C;  
 $(C_b = 0,22$  ккал/кг·°C);  $G = 7$  кг/мин = 420 кг/ч;  
 $C = 4,2$  кДж/кг·°C) ( $C = 1,0$  ккал/кг·°C);  $\gamma = 1000$  кг/м  
 $\omega = 0,1$ ;  $r = 346$  кДж/кг ( $r = 80$  ккал/кг);  $t_s = -1$  °C.

Кроме того, известно, что диаметр штанги равен 0,025 м.

Найти температуру воды на входе  $t_{w,i}$ , чтобы  $t_{w,o}$  была не менее 0°C.

Расчет начнем с определения  $\alpha$ .

В рассматриваемом случае вода движется по кольцевому зазору между штангой и стенками скважины.

$$w_o = \frac{7 \cdot 10^{-8} \cdot 4}{\pi (4,2^2 - 2,5^2) \cdot 10^{-4} \cdot 60} = 0,13 \text{ м/с};$$

$$d_s = \frac{(4,2^2 - 2,5^2) \cdot 10^{-2}}{\pi 4,2^2} = 0,027 \text{ м};$$

$$\alpha = 5,7 \frac{(2800 \cdot 0,13)^{0,8}}{0,027^{0,2}} = 580 \text{ Вт/м}^2 \text{·}^{\circ}\text{C};$$

$$(\alpha = 4,91 \frac{(2800 \cdot 0,13)^{0,8}}{0,027^{0,2}} = 500 \text{ ккал/м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}).$$

По формуле настоящего приложения

$$\begin{aligned} t_{w,i} &\geq 0 + \frac{3,14 \cdot 4,2 \cdot 10^{-2}}{420 \cdot 1 - 3,14 \cdot 4,2 \cdot 10^{-2} \cdot 500 \cdot 4} \left\{ 500 \cdot 4 + \right. \\ &+ \frac{4,2 \cdot 10^{-2} \cdot 36 \cdot 2800 \cdot 0,22}{4} (1 - 0,1) + \\ &+ \left. \frac{4,2 \cdot 10^{-2} \cdot 1000 \cdot 0,1 \cdot 1}{4} \right\} (0 + 1) + \\ &+ \frac{3,14 \cdot 4,2^2 \cdot 10^{-4} \cdot 36 \cdot 0,1 \cdot 1000 \cdot 80}{2(2 \cdot 420 \cdot 1 - 3,14 \cdot 4,2 \cdot 10^{-2} \cdot 500 \cdot 4)}; \quad t_{w,i} \geq 2,4 \text{ }^{\circ}\text{C}. \end{aligned}$$

Этот расчет производился в старой системе единиц.

Вода на входе в штангу должна иметь температуру всего 2,4 °C, что гарантирует отсутствие ее замерзания.

Надо отметить, что большая доля тепла идет на скрытую теплоизделия холода.

Если при бурении попадается линза, заполненная льдом, то для его расплавления температура воды не входе в бур должна быть не менее  $15^{\circ}\text{C}$  (это не означает, что такую температуру надо поддерживать при бурении – вполне допустимо плавление только части льда и выход из скважины воды с ледяной крохой).

### Пример 2.

Дано:  $d_0 = 0,105 \text{ м}$ ;  $v_{\text{л}} = 3 \text{ м/ч}$ ;  $G = 15 \text{ кг/мин} = 900 \text{ кг/ч}$ .

Остальные условия те же, что и в примере 1.

Считая, что диаметр штанги равен 50 мм, получим:

$$\alpha = \frac{122 \text{ ккал}}{(\text{м}^2 \cdot \text{град})}$$

$$m \pi \frac{d_0^2}{4} \geq 0 + \left. \frac{3,14 \cdot 10,5 \cdot 10^{-2}}{3,14 \cdot 10,5 \cdot 10^{-2} \cdot 122 \cdot 4} \right| \begin{matrix} 122 \\ + \end{matrix}$$

$$900 \cdot I - \left. \frac{3,14 \cdot 10,5 \cdot 10^{-2} \cdot 122 \cdot 4}{2} \right| \begin{matrix} 10,5 \cdot 10^{-2} \cdot 3 \cdot 2800 \cdot 0,22 \\ 4 \end{matrix} \quad (I-0, I) +$$

$$+ \left. \frac{10,5 \cdot 10^{-2} \cdot 3 \cdot 1000 \cdot 0,1 \cdot I}{4} \right| \begin{matrix} I \\ + \end{matrix}$$

$$+ \frac{3,14 \cdot 10,5^2 \cdot 10^{-4} \cdot 3 \cdot 0,1 \cdot 1000 \cdot 80}{2(2 \cdot 900 \cdot I - 3,14 \cdot 10,5 \cdot 10^{-2} \cdot 122 \cdot 4)} = 0,5^{\circ}\text{C}$$

### 2. Пылеподавление антифризами.

Для подавления пыли при бурении мерзлых пород в условиях, когда не применяется промывка скважин водой, рекомендуется разработанное Всесоюзным научно-исследовательским институтом золота и редких металлов (ВНИИ-1) Министерства цветной металлургии СССР пылеподавляющее приспособление ПП, принцип действия которого основан на увлажнении продуктов бурения диспергированной из замерзающей жидкостью непосредственно в месте разрушения породы.

Пылеподавляющее приспособление состоит из регулятора расхода жидкости, присоединяемого к перфоратору (например, ПР-30РЦ или ПР-30РК), резинотканевых рукавов, бака и переходника с вентилем и манометром. Регулятор предназначен для изменения количества жидкости, поступающей на пылеподавление, в зависимости от минерального состава и механических свойств горных пород в диапазоне 15–1050 мл/мин.

Оптимальный расход жидкости находится в пределах от 40 до 125 мл/мин. Резинотканевые рукава предназначаются для подачи сжатого воздуха с давлением до 6 кгс/см<sup>2</sup> в бак с раствором и для

подачи раствора из бака к регулятору.

Бак вместимостью 14 л, металлический под давление 10 кгс/см<sup>2</sup>, служит для хранения и перевозки смачивющей жидкости. Переходник, монтируемый в магистраль, служит для подачи сжатого воздуха в бак, контроля и изменения давления. На нем установлены вентили и манометр.

Сжатый воздух из магистрали по разинотканевому рукаву подается в бак с раствором. Жидкость из бака под давлением воздуха по второму разинотканевому рукаву поступает к регулятору, из которого в заданный режим по жидкостной трубке подается в канал буровой штанги, где смешивается с воздухом, предназначенный для продувки, и направляется непосредственно на забой шпура. Буровой штыб, увлажненный жидкостью, выносится воздухом из шпура и выпадает на почву выработки.

В качестве незамерзающей пылеподавляющей жидкости по гигиеническим и экономическим соображениям рекомендуются водные растворы хлористого натрия и хлорного кальция. Плотность раствора применяют в зависимости от температуры воздуха по таблице.

Температура воздуха, °C	Раствор хлористого натрия		Раствор хлористого кальция	
	Количество соли на 1 л воды, г	Плотность раствора при 15°C, г/см <sup>3</sup>	Количество соли на 1 л воды, г	Плотность раствора при 15°C, г/см <sup>3</sup>
-5	84	1,05	100	1,08
-10	160	1,10	170	1,13
-15	230	1,14	226	1,17
-20	290	1,17	271	1,19
-25	Не применяют		310	1,22
-30	- " -		340	1,24
-35	- " -		360	1,25
-40	- " -		380	1,26
-45	- " -		400	1,27
-50	- " -		415	1,28

Раствор готовят в отдельном сосуде. Плотность раствора контролируется денситром.

Для улучшения пылеподавления рекомендуется в раствор добавлять смачиватель ДБ(СТУ № 10.139-61) в количестве 0,1% от объема жидкости, предварительно растворив его в небольшом количестве теплой воды.

Пылеподавляющее приспособление ПП изготавливается ремонтно-механическим заводом в г.Магадане.

Несмотря на наличие пылесосающего устройства в качестве индивидуального средства защиты от пыли, при бурении шпуров необходимо применять противопылевые респираторы и специальные очки.

### 3. Сухое обеспыливание воздуха.

Приятая технология строительстве тоннелей предусматривает применение специальных буровых агрегатов ПБА и "Фуркава". При одновременной работе шести тяжелых перфораторов типа БУ-Дм (агрегат ПБД-1) требуется отсосывать и очищать не менее  $60 \text{ м}^3/\text{мин}$  запыленного воздуха, при работе того же количества перфораторов типа РД-Юи (агрегат "Фуркава") - производительность пылеулавливающей установки должна быть не менее  $70 \text{ м}^3/\text{мин}$ .

В настоящее время в горной промышленности широко используются индивидуальные пылеулавливающие установки при бурении шпуров и скважин диаметром от 42 до 100 мм [4-5], а также взрывных скважин в карьерах. Пылеулавливающая установка размещается в пределах 10-50 м от места бурения и состоит из пылеулавливающего колпака для отсоса пыли от устья шпуря, гибкого шланга диаметром 25-35 мм, циклона (ступень грубой очистки) и магнитного фильтра для улавливания тонкодисперсной пыли менее 10 мкм, побудителя тяги (электродвигатель, высоконапорного вентилятора или воздушодувки).

Максимальное количество отасываемого и очищаемого от пыли воздуха не превышает  $2-3 \text{ м}^3/\text{мин}$  при бурении шпуров и  $10-12 \text{ м}^3/\text{мин}$  при бурении скважин.

Для улавливания пыли при бурении ручными и телескопическими перфораторами типа ПР-ЗОИ, ПР-ЗОКС, ПРО-24Л и др. в заводском исполнении поставляются несколько типов пылеулавливающих установок: ТБНОТ СПАР-4 и ДСП-3 (количество отасываемого воздуха  $0,4-0,5 \text{ м}^3/\text{мин}$ ) пылеуловитель ВНИИ-1 М-С4РД и др.

Имеется опыт централизованного удаления пыли при работе нескольких ручных перфораторов.

Запыленный воздух от каждого перфоратора по всасывающим гибким шлангам и по центральному всасывающему трубопроводу транспортируется в осадительную камеру. Побудителем тяги служит электродвигатель производительностью до  $2 \text{ м}^3/\text{мин}$ .

Из анализа используемых в горной промышленности технических решений по сухому пылеотсосу на буровых работах следует, что в настоящее время отсутствует опыт централизованного улавливания пыли при одновременной работе нескольких тяжелых перфораторов или

бурильных машин типа БУ-1м с расходом сжатого воздуха не менее установки 10-12 м<sup>3</sup>/мин и суммарным расходом до 70 м<sup>3</sup>/мин.

Применять ее индивидуальную пылеулавливающую установку каждой бурильной машине нецелесообразно по условиям их размещения в буровой резме.

Для дальнейших проработок и исследований можно предложить в качестве базовой следующую схему централизованного пылеотвода с буровых агрегатов ПБА-1 и "Фурекове" с использованием тяговых фильтров типа БУ-1м и ЕД-100.

Ст устья каждого штура отсоса пыли производится через приемный коллектор, на котором устанавливается отдельный побудитель ги - вектор (например, Э-95 с расходом сжатого воздуха 2,5 м<sup>3</sup>/мин производительностью до 15 м<sup>3</sup>/мин и создаваемым разрежением 700 ми вод.ст.). Запыленный воздух по гибким шлангам от каждого тягового фильтра через сборную камеру поступает в отдельный циклон буровой циклон типа Цн.

Из циклона очистка воздуха делается производится в матерчатом с изнанкой стрижеванием фильтрующей ткани. Чистый воздух выбрасывается в атмосферу при забойной зоне.

Вся пылеулавливающая установка размещается на буровой раме на специальной тележке и соединяется с буровой рамой.

Основательный выбор побудителей тяги, типов и количества циклонов, фильтра тонкой очистки производится после детального про-

**ПРИМЕР РАСЧЕТА КОМБИНИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ  
ВЕНТИЛЯЦИИ**

**У с о з о в и я з а д а ч и .**

Железнодорожный однопутный тоннель сооружается двумя параллельными выработками: основной - с площадью поперечного сечения  $F_0 = 62,3 \text{ м}^2$  и штольня - с  $F_1 = 14,1 \text{ м}^2$ .

Штольня расположается из 20 м от основной выработки. Через каждые 300 м делается сбойка выработок с той же площадью поперечного сечения, что и у штольни.

Штольня опережает тоннель на 300 м. Таким образом, получается, что максимальная длина тупиковой части основной выработки составляет  $\ell_1 = 300 \text{ м}$ , а штольни  $\ell_2 = 600 \text{ м}$  (рис. I).

Разработка породы ведется буровзрывным способом, транспортировка - двумя машинами МСД8 независимо по штольне и основной выработке. Скорость движения транспорта по выработкам  $V=12 \text{ км/ч}=3,34 \text{ м/с}$ .

Для уборки породы из забоя штольни необходимы 5ездок, основной выработки - 19 зездок.

Наибольшая длина выработок, проходимых по указанной схеме, составляет:

$$\text{штольни } \ell_1 + \ell_2 = 1500 \text{ м},$$

$$\text{тоннеля } F_0 + F_1 = 1200 \text{ м.}$$

Продолжительность одного транспортного цикла (погрузка, вывозка, разгрузка и возвратаение):

для штольни  $t_{\text{шт}} = 30 \text{ мин.}$

для тоннеля  $t_{\text{то}} = 25 \text{ мин.}$

Система вентиляции - комбинированная по схеме "сквозная + вытяжные".

Требуется рассчитать воздухообмены сквозной вентиляции и вытяжной тупиковых частей выработок для разбавления и выноса выхлопных газов автомашин. Для очистки забоя от газов после варьирований могут применяться вытяжные системы вентиляции с прокладкой воздуховодов по выработкам (использовать воздуховоды для удаления выхлопных газов автомашин экономически невыгодно, так как это требует существенно больших воздухообменов).

В настоящем примере не рассматриваются вопросы переключения вентиляции с работы одной системы на другую, использования одного

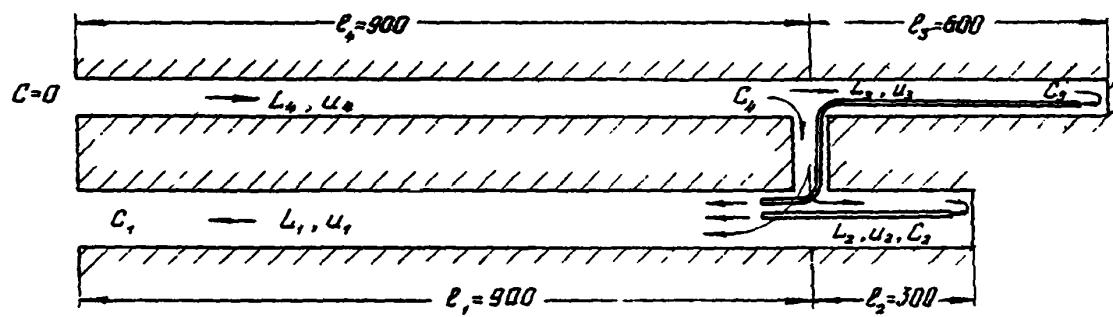


Рис. I. Расчетная схема проветривания (длины выработок  $l$  в м)

оборудования для обеих систем и т.д. Разбирается только расчет требуемой производительности вентиляции при транспортировке породы, осложненный взаимным влиянием воздухообмена в основной штольне и в выработке.

#### Р е с у м о.

Принципиальная схема вентиляции представлена на рис. I.

Наиболее "трудной" частью всего сооружения, с точки зрения обеспечения требуемой чистоты воздуха, является штольня, имеющая малую площадь поперечного сечения. Поэтому для сквозного проветривания выбрано направление потока воздуха "из штольни - в гоннель", при котором в штольне по направлению движения воздуха (наиболее неблагоприятному) будет следовать порогний транспорт, выделяющий меньшее количество газов, чем груженый.

Определяющим вредным веществом при работе дизельного транспорта является окись углерода. Считаем ее содержание в воздухе, забираемом снаружи, равным нулю.

При прохождении по штольне со скоростью  $U_1$  этот воздух (поток  $L_1$ ) будет загрязняться выхлопными газами автомашин, следующей в прямом или обратном направлении, в результате чего у сбойки концентрация окиси углерода будет равна  $C_1$ .

Некоторая доля  $L_1$  воздуха с этой концентрацией забирается в тупиковую часть штольни, где получает дополнительное загрязнение до концентрации  $C_2$  от стоящей под погрузкой машины.

Другая часть воздуха  $L_2$  идет в забой основной выработки и загрязняется ею до концентрации  $C_3$ .

Воздух с концентрациями  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$  и соотвествующими расходами  $L_1$ ,  $L_2$  и  $L_3 = L_1 - L_2$  сливается в точке А основной выработки и не ее длине дополнительно разбавляется вред из-за действия от курирующей автомашины, в результате чего у перегородки концентрация становится равной  $C_4$ .

Эта концентрация не должна превышать предельно допустимой.

Пользуясь тем, что начальная концентрация не зависит от порядка поступления в воздух вредных веществ, сведем фактическую схему к условной, позволяющей упростить расчеты.

Условная схема заключается в следующем: имеется основная выработка длиной  $L_1 + L_2 = 1200$  м, проветриваемая воздухом с фоновой концентрацией  $C_{\phi}$ , реальной концентрации вредных веществ в воздухе, поступающем из вспомогательной штольни.

$$C_{\phi} = \frac{(L_1 - L_2)C_1 + L_2 C_3}{L_1}$$

Расчет ведем методом подбора. Для этого выполняем следующее:  
в) определяем через  $C_p$  безразмерные параметры величин  $\xi$ ,  
 $\zeta$  и  $w$  (см. приложение 6) для основной выработки (индексы "0")

$$\bar{\xi}_0 = \frac{C_p v}{2(L_0 + L_1)} = \frac{25 \cdot 60 \cdot 3,34}{2(900+300)} = 2,1;$$

$$\zeta_0 = \frac{F_0 v (C_{av} - C_p)}{\bar{q}_a (C_a - C_p)} = \frac{62,3 \cdot 3,34 (20 - C_p)}{200 \cdot 9 \cdot 10^{-4} (1,8 \cdot 10^3 - C_p)} = \\ = 0,64 (20 - C_p)$$

(величиной  $C_p$  в знаменателе пренебрегаем, так как она, по крайней мере, на 2 порядка меньше  $1,8 \cdot 10^3$ ).

Здесь  $C_{av}$  - предельно допустимая концентрация окиси углерода, равна  $20 \text{ mg/m}^3$ ;

$\bar{q}_a$  - средний расход выхлопных газов для грунтовой к порожней машины (номинальной мощностью  $200 \text{ л.с.}$ ), идущих по выработке  $\bar{q}_a =$   
 $= 200 - \frac{10 + 8}{2} \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$  (см.п.2.1 основного текста);

$C_p$  - средняя концентрация окиси углерода в выхлопных газах;  $C_p = \frac{2 + 1,6}{2} \cdot 10^3 \text{ mg/m}^3$ .

Задаваясь значениями  $C_p$ , подсчитываем  $\xi$  и по nomogramme приложения 6 находим  $L'_0$ :

г) определяем максимальный необходимый расход воздуха  $L'_0$  для разбавления газов единой стоящей (под погружкой) машиной

$$L'_0 = \frac{\bar{q}_a}{C_p} = \frac{200 \cdot 8 \cdot 10^{-4} \cdot 1,6 \cdot 10^3}{C_p} = \frac{256}{C_p} \text{ m}^3/\text{s}$$

(пересчитан гравированной приемником таким же, как для порожней машины);

в) определяем минимально необходимый расход воздуха  $L_0$  для разбавления газов, выделяемых единой машиной, идущей по потоку воздуха (от портала к забою).

$$L'_0 = F_0 u_0 = F_0 v + \frac{q_0 C_p}{C_p} = 14,1 \cdot 3,34 + \frac{8 \cdot 10^{-4} \cdot 200 \cdot 1,6 \cdot 10^3}{C_p} = \\ = 47 + \frac{256}{C_p} \text{ m}^3/\text{s}; L'_0 = 47 - \frac{256}{C_p} \text{ m}^3/\text{s};$$

г) по наименьшему из значений  $L_0$ , определенных по пр. "б" и "в", вычисляем  $u_0$  и  $\bar{w}_0$

$$u_0 = \frac{L_0}{\bar{F}_0} = \frac{L_0}{62,3} \text{ m/s};$$

$$\bar{W}_o = \frac{V}{U_i} = \frac{3,34 \cdot 62,3}{L_o} = \frac{208}{L_o};$$

д) полученные значение  $\bar{W}_o$  сравниваем с ранее определенным в п."а". Значение  $C_p$ , при котором величины  $\bar{W}_o$  будут достаточно близки, является искомым.

Вычисления представлены в табличной форме

$$C_p = 2,1$$

$C_p$	$\xi_o$	$\bar{W}_o$	$L'_o$	$L''_o$	$L'''_o$	$\bar{W}_o$
8	7,7	4,1	32,0	79,0	15,0	2,64
10	6,4	3,3	25,6	72,6	21,4	2,73
12	5,1	2,1	21,5	68,4	25,6	3,04
11	5,75	2,6	23,2	70,2	23,8	2,97
10,5	6,1	2,9	24,3	71,4	22,6	2,90

Значение  $C_p = 10,5$  мг/м<sup>3</sup> является расчетным.

Определяем

$$u_i = \frac{L_o}{62,3} = \frac{71,4}{62,3} = 1,14 \text{ м/с};$$

$$u_f = \frac{L_o}{14,1} = \frac{71,4}{14,1} = 5,05 \text{ м/с}.$$

Расход  $L_o$  определяется соотношением

$$F_o u_f c_o = L_o c_o; \text{ здесь } L_o = F_o u_f = \frac{L_o C_p}{4} = \frac{71,4 \cdot 10,5}{20} = 37,5 \text{ м}^3/\text{o.}$$

$$\text{Соответственно } u_f = \frac{37,5}{14,1} = 2,66 \text{ м/с}.$$

Расход  $L_o$  находим, пользуясь критерием приложения 6.  
Для этого определяем

$$\xi_2 = \frac{\nu}{2 L_o} = \frac{25,60 \cdot 3,34}{2 \cdot 300} = 8,3;$$

$$\xi_2 = \frac{F_o \nu (C_{po} - C_o)}{L_o (C_o - C_p)} = \frac{62,3 \cdot 3,34 (20 - 10,5)}{200 \cdot 9 \cdot 10^{-4} \cdot 1789,5} = 6,15;$$

$$\bar{W}_o = 4,2; \quad u_2 = \frac{\nu}{\bar{W}_o} = \frac{3,34}{4,2} = 0,8 \text{ м/с};$$

$$L_o = F_o u_2 = 62,3 \cdot 0,80 = 50 \text{ м}^3/\text{o.}$$

Распределение скоростей, расходов и максимально возможных концентраций в выработках показано на рис.2.

Подсчитываем aerодинамическое сопротивление воздушного тракта сквозной вентиляции.

Сопротивление по длине участка 4 (см.п.4.II основного текста Рекомендаций):

$$h_t = \alpha \frac{\rho}{F} C u_v^2 = 150 \cdot 10^{-4} \frac{13}{14,1} \cdot 900 \cdot 5,05^2 = \\ = 318 \text{ Па (31,8 кгс/м}^2\text{)}.$$

То же участок I:

$$h_t = 150 \cdot 10^{-4} \frac{27 \cdot 200}{62,3} \cdot 1,14^2 = 5 \text{ Па (0,5 кгс/м}^2\text{)}.$$

Местные сопротивления (см.приложение II) определяются

$$h_m = (3,6 + 2,6) \frac{u^2 \rho}{2} = 6,2 \frac{5,05^2 \cdot 0,127}{2} = 9,9 \text{ кгс/м}^2.$$

Скоростной напор

$$h_u = 6,2 \frac{5,05^2 \cdot 0,127}{2} = 99 \text{ Па (9,9 кгс/м}^2\text{)}.$$

Общая потеря давления во тракте

$$h_t = 318 + 5 + 99 + 16 = 438 \text{ Па (43,8 кгс/м}^2\text{)}.$$

По характеристикам подходит, например, группа, состоящая из 5 параллельно работающих пар вентиляторов МЦ-12 (каждая пара - две последовательно установленных вентиляторов).

Общая мощность этих десяти вентиляторов при КПД = 0,55

$$N = \frac{43,8 \cdot 71,4}{0,55 \cdot 102} = 56 \text{ кВт.}$$

Размещение вентиляторов, как указывалось в п.4.22 основного текста, может быть различным.

На рис.3 предложен вариант размещения вентиляторов у портала штольни. В этом случае у этого портала будет создаваться статическое давление, равное 43,8 кгс/м<sup>2</sup>, обусловливающее необходимость устройства люка, для данного примера вполне приемлемого, так как по итогам, согласно условиям задачи, за транспортный цикл машина будет делать всего 5ездок.

Конструкция клина, конечно, необходимо рассчитывать на восприятие указанного давления.

Распределение статического давления по выработкам показано

на рис.2.

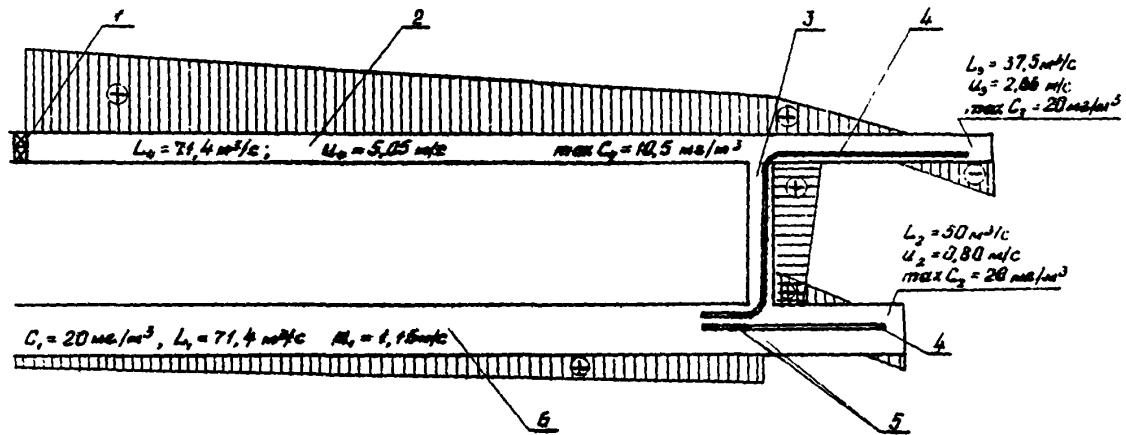


Рис.2. Распределение давления в выработках при комбинированной вентиляции:  
 1 - вентиляторы у портале штольня; 2 - штольня; 3 - сбойка; 4 - воздуховоды;  
 5 - вентиляторы местного проветривания; 6 - основная выработка

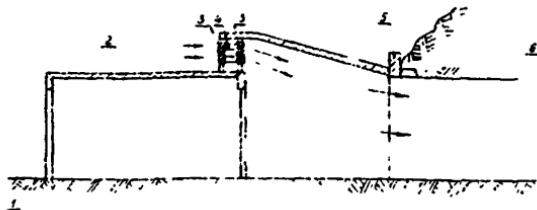


Рис.3. Подача воздуха через портал в тоннели:  
1 - ворота; 2 - решетка; 3 - вентиляторы; 4 - вставки между  
вентиляторами; 5 - решетка на портале; 6 - тоннель;  
7 - направление движения воздуха

Отметим, что узким местом сюда является портал, в которой для обеспечения требуемой чистоты воздуха приходится создавать его движение со скоростью, близкой к предельно допустимой (6 м/с).

Соответственно получаются большие аэродинамические сопротивления, несоразмерные с сопротивлениями других частей воздушного тракта. Возникают осложнения с устройством решеток и т.п. Отсюда следует, что в выработках малого поперечного сечения применение автотранспорта вызывает большие трудности и значительные материальные затраты на вентиляцию.

Просто приточная вентиляция порталом для разобранных условий примера (подача воздуха в забой по трубам) вообще не обеспечивает требуемых санитарно-гигиенических норм.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Методические указания по проектированию вентиляции при сооружении железнодорожных тоннелей и тоннелей метрополитенов. М., Газетранспроект, 1969.
2. Тоннели. Справочное-методическое пособие. М., Транспорт, 1979.
3. Высокопроизводительные технологические схемы сооружения горных транспортных тоннелей. Информационный листок министерской информации ГЭ-79. М., Оргтрансстрой, 1979.
4. Правила безопасности в угольных и сланцевых шахтах. М., Недра, 1973.
5. Правила техники безопасности и производственной санитарии при строительстве метрополитенов и тоннелей. М., Оргтрансстрой, 1975.
6. Руководство (рекомендации) по проектированию и организации проветривания строящихся и реконструируемых шахт. Харьков, ВНИИСМС, 1976.
7. Радченко Г.А. Обеспечивающее проветривание подземных выработок. Алма-Ата, Наука, 1970.
8. Гришев В.И. Вентиляция тоннелей из железных дорогах. М., Трансклердорздат, 1961.
9. Извинев М.И. Бурение штурвов при проходке подземных выработок. М., Оргтрансстрой, 1971.
10. Скобулов В.В. Профилактика силикоза при строительстве тоннелей и метрополитенов. М., Оргтрансстрой, 1968.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ .....	3
1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ .....	4
2. ОСНОВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ВЫДЕЛЕНИЯ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕЙ ...	6
3. ВЕНТИЛЯЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И РАСЧЕТ ИХ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ .....	II
4. ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ И ОБОРУДОВАНИЕ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ .....	21
5. ВЫБОР СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ .....	39
6. ГЛУШЕНИЕ ШУМА ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ УСТАНОВОК .....	46

## ПРИЛОЖЕНИЯ

1. Характеристики основных газовых примесей в воз- духе рабочей зоны тоннельных выработок .....	50
2. Характеристики основных пылевидных примесей (аэрозолей) в воздухе тоннельных выработок ...	54
3. Метеорологические условия в рабочей зоне тоннельных выработок .....	55
4. Характеристики вредных веществ, выделяемых при сварке в тоннельных выработках .....	56
5. Определение расходов воздуха продольной систе- мы вентиляции и системы с распределенной раздачей при автомобильной выемке породы и материалов в выработке .....	57
6. График расчета вентиляции выработок, в ко- торых работает одиночные автомашины (МОАЗ) или дизель-поезд .....	62
7. Номенклатура стальных воздуховодов, применяемых в рудничной вентиляции .....	63
8. Выбор диаметра воздуховода ....	64
9. Определение мест установки вентиляторов на воздуховодах .....	66

10. Характеристики текстильных труб .....	74
II. Коэффициенты местных сопротивлений выработки .....	75
12. Способы уплотнения воздуховодов .....	77
13. Характеристики основных видов вентиляторов	80
14. Пример расчета мощности калориферов для нагрева вентиляционного воздуха .....	87
15. Эффективность гидрообеспыливания .....	89
16. Борьба с пылью при работе комбайнов .....	91
17. Борьба с пылью при бурении шпуров в мерзлых породах .....	93
18. Пример расчета комбинированной системы венти- ляции .....	99
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....</b>	<b>107</b>

Редактор Н.Б.Букова  
Корректор С.Д.Сухова  
Технический редактор Е.В.Каралина

Подп. к печ. IV.04.83 г. Заказ 233  
Объем 7,0 п.л. Тираж 300 экз. Цена 75 коп.  
Ротапринт ЦНИИСа