

**МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА**  
**ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО—ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ**  
**~~СТРОИТЕЛЬНОГО~~ 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**  
**Н. В. СМЕРНОВ**  
**18 апреля 1983 г**

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

**Одобрены Главтоннельметростроем**

**Москва 1983**

УДК 624.191.94(083.75)

© Всесоюзный научно-исследовательский институт  
транспортного строительства, 1983

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящие Рекомендации предназначены для проектных и производственных организаций. В соответствии с этим они содержат систематизированные материалы по вентиляции подземных выработок сооружений тоннелей; методики расчетов вентиляции по альбомности упрощения; в приложениях даны примеры.

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

Ряд предложенных в Рекомендациях способов вентиляции и ее расчетов использовался СКБ Главтоннельмостостроения при разработке [1].

Рекомендации разработаны канд. техн. наук А.И.Листов, инженеры А.Б.Скворцова, М.В.Яздов, И.К.Новый.

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

Зав.отделением транспортных  
зданий

К.И.Хабибулин

## 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Настоящие Рекомендации распространяются на объекты сооружения горных транспортных тоннелей, проектирование и строительство которых ведется подразделениями Минтрансстроя.

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

1.2. По объему материалов и их содержанию Рекомендации учитывают, что устройство систем вентиляции тоннельных выработок, их эксплуатации, а также технологические процессы строительства, влияние на состав и температуру воздуха, как правило, ведутся по проекту, но не исключается вероятность принятия оперативных решений и их реализация строительными подразделениями при условии последующего обязательного согласования с проектной организацией.

1.3. В Рекомендациях отнесены следующие специфические условия строительства тоннелей из БМШ:

низкие температуры наружного воздуха в зимнее время;

длительный период с отрицательными температурами наружного воздуха;

нелинейное изменение температур;

возможность высоких температур породного массива в зоне

проходки тоннелей;

большая длина глухих участков тоннельных выработок;

применение при строительстве нового, в том числе импортного оборудования.

1.4. При изготовлении элементов, монтаже и эксплуатации вентиляционных систем следует уделять особое внимание их качеству, для чего рекомендуется в проектах предусматривать соответствующие устройства по определению показателей качества.

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

При этом должны учитываться:

реальность 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 взвешиваний в воздухе рабочей зоны не должны принимать по ГОСТ 12.1.005-76 "Воздух рабочей зоны. Общие санитарно-гигиенические требования"<sup>1</sup>.

Характеристики наиболее распространенных в практике тоннелестроения 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 нормального протекания технологических процессов, и 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 пород и т.п., в случае противоречия требований гигиены и 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 возможность

<sup>1</sup> Величины ПДК для углекислого газа  $CO_2$  и минимальное допустимое содержание кислорода  $O_2$  государственные стандарты не регламентированы; их значения приведены в [2].

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

способы снижения выделений вредных веществ;  
выравнивающие интенсивности выделения во времени;  
применение средств поглощения вредных веществ и их локализации;

тепловые расчеты.

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

## 2. ОСНОВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ВЫДЕЛЕНИЯ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ

Барьеры при разработке породы в забоях

2.1. Основными вредными веществами, выделяющимися при взрывчатых породах являются:

окись углерода;  
диоксид углерода;  
окислы азота;  
пыль.

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

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

Т а б л и ц а I

Условия увлажнения	Расчетные значения газовой ВВ, л/кг, при коэффициенте крепости пород по М.Ч. Протодьяконову							
	4	6	8	10	12	14	16	18
Без учета влияния времени	40	35	30	30	40	55	60	65
С учетом влияния обводненности или искусственного орошения	10	15	20	30	40	50	60	65

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

Обводненность забоя или искусственное орошение на 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 паспорта бурозащитных работ есть все основания для опробования и применения различных способов орошения забоя.

Недо иметь в виду, что некоторое уменьшение производительности вентиляции, которое получится от условности принятия газоопасности ВВ, совершенно не означает перерасхода средств, так как оно будет компенсироваться сокращением времени пробуривания забоя.

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

$$l_r = 2H \frac{A}{\gamma_r l_e \sqrt{F_{\text{поп}}}}, \quad (1)$$

где  $A$  — количество взрываемого вещества, кг;

$\gamma_r$  — плотность породы в естественном состоянии, т/м<sup>3</sup>;

$l_e$  — длина плура, м;

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

**Требования к машинам с двигателями внутреннего сгорания**

2.5. Для работы в подземных выработках на всех машинах с двигателями внутреннего сгорания допускается только дизельные, оборудованные нейтрализаторами отходящих газов.

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

2.6. Приведенные требования определяют минимальные расчетные характеристики выделений отработанных газов для любых двигателей.



тепел на I л.с. номинальной мощности:

расход газов для машин, м<sup>3</sup>/о

грузовых ..... 0,001

порожних ..... 0,0008

концентрации условной окиси углерода

для машин, мг/м<sup>3</sup>

грузовых ..... 2000

порожних ..... 1600

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

$$Q_{\text{м}} = 0,7 Q_{\text{р}} G, \quad (2)$$

где  $Q_{\text{р}}$  - низшая теплотворная способность топлива,

#### Сварочные работы

2.8. Основными вредными веществами, выделяющимися в воздух при электродуговой сварке, являются аэрозоли и окислы азота.

Значение предельно допустимой концентрации сварочных аэрозолей дано в приложении 2.

Величины интенсивности выделений этих веществ в зависимости от мерок электродов, силы тока и вида операции приведены в приложении 4. Здесь же помещены коэффициенты неравномерности сварки  $K_{\text{н}}$ , необходимые для расчета воздухообмена.

2.9. Значение выделения тепла у сварочного поста может определяться

$$Q_{\text{св}} = 36 K_{\text{н}} J B T (Q_{\text{д}} - J (K_{\text{н}} J_{\text{эл}} / \tau)), \quad (3)$$

где J - сила тока, А.

2.10. Газовая сварка применяется редко и образующиеся при ней вредные вещества (СО, СО<sub>2</sub>, 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

$$A_{\text{б}} = A_{\text{б.т}} V_{\text{б.т}} d_{\text{ст}}^2 \gamma_{\text{т}} K_1 K_2 K_3, \quad (4)$$

где  $A_{\text{б}}$  - интенсивность пылепоступления, мг/с;

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

$f$  - коэффициент крепости породы;

$V_{бр}$  - скорость бурения, мм/мин;

$d_{ш}$  - диаметр шпура, мм;

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

$\kappa_1$  - коэффициент возрастания интенсивности пылевыведения 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 кареток  $\kappa_1$  определяется по табл.3;

$\kappa_2$  - коэффициент, учитывающий направленность шпура. При бурении вертикальных шпуров  $\kappa_2 = 1,3$ ; горизонтальных 1,0 и нисходящих 0,7;

$\kappa_3$  - коэффициент, учитывающий массу 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

$u_v = 0,1-1,0$  м/с дополнительное поступление пыли изменяется от 10 до 52 %.

Т а б л и ц а 2

№ п/п	Способ и режим бурения	Коэффициент размерности $\Delta_f$
1	При нормализованном бурении с осевой промывкой технически чистой водой	$155 \cdot 10^{-8}$
2	То же, но с пылесмачивающими 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 окиски водовоздушной смесью	$10 \cdot 10^{-8}$

П р и м е ч е н и е. Для быстроточных перфораторов значение  $\Delta_f$  можно принимать равным  $512 \cdot 10^{-6}$ .

Т а б л и ц а 3

Буровая каретка СБУ-2		Буровая каретка "Клайманкс"	
Количество	$\kappa_i$	Количество	$\kappa_i$
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

$$A_6 = 4,7 \cdot 10^{-5} V_{\text{бур}} a_{\text{ср}}^2 \gamma_n f \kappa_1 \kappa_2 \kappa_3 \kappa_4 \beta_n. \quad (5)$$

где  $\kappa_1$  - коэффициент, учитывающий влияние обводненности буримых пород. При бурении по сухим породам  $\kappa_1 = 1$ ; по обводненным  $\kappa_1 = 0,1$ ; при средней обводненности  $\kappa_1 = 0,5$ ;  
 $\beta_n$  - коэффициент, учитывающий эффективность пылеулавливающих устройств  $\beta_n = 1,00 - 0,01 \eta_{\text{пл}}$  ( $\eta_{\text{пл}}$  - КПД пылеуловителя, %).

Для аппаратов с хорошим 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  $A_{\text{г}}$ , мг/с, согласно [7] определяется по формуле

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

где  $\delta_n$  - коэффициент, учитывающий размерность входящих величин, эффективность орошения и пылесмачивающих добавок. При сухой породе  $\delta_n = 0,28$ , при обильном орошении массы пород погрузкой чистой водой  $\delta_n = 0,014$ , а при орошении водой со смачивающими добавками  $\delta_n = 0,009$ ;  
 $G_n$  - часовая производительность механизма, т/ч;  
 $\rho_n$  - удельное пылевидделение, г/т, определяется по табл.4.

Т а б л и ц а 4

№ п/п	Погрузочные работы	Удельное пылевыделение $\lambda$ , г/т
1	Погрузка машинами с загребковыми лопатами	6,7-22
2	Ручная погрузка или перекидка горной массы	10-15
3	Скреперовозы	5-7
4	Погрузка машинами типа ПМЛ или ЭПМ	7-9
5	Погрузка экскаватором с ковшем емкостью 1 м <sup>3</sup>	3-5

П р и м е ч е н и е. Меньшие значения  $\lambda$  относятся к крупно-кусовой 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  $L_{пр}$ , м<sup>3</sup>/с, определяется

$$L_{пр} = \frac{4,1 \ell_{пр} F_{взв}}{\tau} - \ell g \left( a \frac{\ell_{пр} \lambda_a}{\sqrt{F_{взв}}} \right), \quad (7)$$

где  $\ell_{пр}$  - максимально допустимое расстояние среза приточного воздуховода от плоскости забоя (после взрыва), м, определяется по формуле

$$\ell_{пр} = 18,7 \sqrt{F_{взв}} \sqrt{\frac{F_{пр}}{F_{взв}}}, \quad (8)$$

или подбирается по табл.5.

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

$a$  - численный коэффициент, равный 25 и 50 соответственно для  $F_{взв}$  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 натурных условиях при оставлении паспорте буре-взр-ных работ.

Т а б л и ц а 5

Диаметр воздухово- да, м	Максимально допустимое расстояние среза приточных труб от забоя $L_{пр}$ , м, при площади поперечного сече- ния выработки $F_{выр}$ , 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, удаляемого из забоя воздуховодом вытяжной системы, принимается большим  $L_{пр}$  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 взрыва.

Традиционный вариант таких систем (рис. 1) заключается в устройстве отсоса, расположенного от груди забоя на расстоянии

$$L_0 = L_{пр} + (3 \div 10) \text{ м},$$

и рециркуляционного короткого воздуховода длиной 15–20 м, питаемого автономным вентилятором-побудителем или вентилятором, отстоящим на некотором расстоянии от воздуховода.

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

$$L_{выт} = (1,1 \div 1,2) L_{пр}$$

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

Оптимальное расположение вояса диаметрально противоположно притоку; при этом обеспечивается наилучшее омывание приво-бойного пространства воздухом.

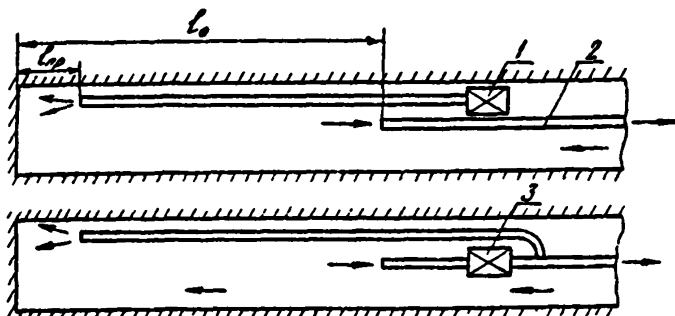


Рис.1. Комбинированные способы проветривания одиночных тупиковых забоев:  
1 - вентилятор-побудитель; 2 - отсасывающий воздухопровод;  
3 - вентилятор для рециркуляции отсоса

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

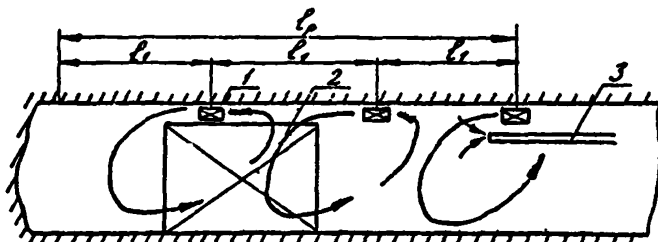


Рис.2. Рециркуляционная вентиляция в призабойном пространстве:  
1 - вентиляторы-побудители; 2 - загроможденная выработка конструкции; 3 - отсасывающий воздухопровод

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

$$L_v = \frac{F_{\text{вп}} L_0}{\tau} \left[ 0,64 + 0,27 \frac{L_0}{D} (n-1) + 4,42 \kappa_n \lg \left( a \frac{L_0 \chi_n}{V F_{\text{вп}}} \right) \right], \quad (9)$$

где  $l_1$  - длина зоны рециркуляции, м;  
 $l_2$  - расстояние между вентиляторами (или их группами), м, определяется как и  $l_{до}$  по формуле (8) или по табл.5;  
 $n$  - количество вентиляторов (или групп), включая и приточный воздуховод, принимаемый за один вентилятор;  
 $D = \frac{4F_{взв}}{P}$  - приведенный 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 калотте (рис.3).

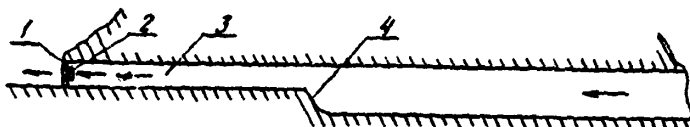


Рис.3. Сквозная вентиляция при раскрытии выработки на полный профиль:  
 1 - перемычка; 2 - вентилятор; 3 - калотта; 4 - забой

Производительность такой вентиляции  $L_c$  м<sup>3</sup>/с, рассчитывается по формуле

$$L_c = \frac{F_{ср}(l_c + l_{до})}{\tau_c} \quad (10)$$

где  $F_{ср}$  - средний по длине следовая газового облака площадь поперечного сечения выработки (калотты), м<sup>2</sup>;  
 $\tau_c$  - время очищения забоя и выработки от взрывных газов, с;  
 $l_c$  - длина пути, проходимого облаком до места всаса, выхода на штоль или поступления на участок, где отсутствуют люди, м;  
 $l_{до}$  - полуширина газового облака, определяемая по графику на рис.4.

Кривая 1 относится к сильно взгроможденным выработкам с большим количеством порога 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;

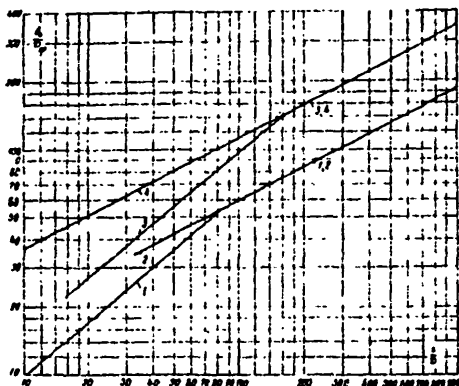


Рис.4. График зависимости полуширины газового облака от длины выработки:  $Y$  - диаметр выработки

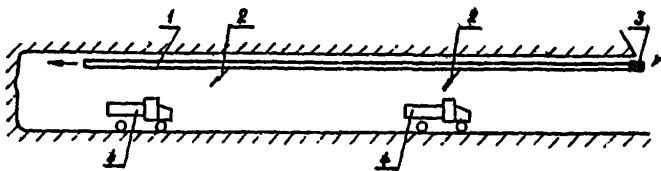


Рис.5. Система с распределенной раздачей воздуха:  
1 - воздуховод; 2 - перемычка; 3 - отводящий воздуховод;  
4 - выработка, по которой идет транспортировка;



4 - к прямым выработкам, имеющим внезапное увеличение площади;  
 $L_{cp}$  - 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

$$L_{np} = \frac{\Sigma G_{dp}}{C_{доп} - C_{ф}} \quad (II)$$

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

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

Нужно заметить, что неравномерность выделения вредных веществ на каком-либо участке выработки больше, чем на всей ее длине. Например, если в среднем в выработке одновременно находится пять автомашин, вывозящих породу, и вероятно наличие дополнительных местной (вследствие естественной неравномерности движения), выработка поделена на 5 участков, то на одном из них вместо одной ма-

шины окажется две; таким образом, для всей выработки нагрузка вырастет в 6/5 разе, а для каждого-то участка - вдвое. Далее даны предположения по количественному учету этого фактора.

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

$$L_n = \frac{G_{1n}}{C_{доп} - C_0} \quad (12)$$

В конце предпоследнего участка

$$L_{n-1} = \frac{G_{1n}}{C_{доп} - C_0} \quad (13)$$

В конце первого участка

$$L_1 = \frac{G_{1p}}{C_{доп} - C_0} \quad (14)$$

Расход воздуха, транспортируемого по воздуховоду и идущего по выработке на паршем участке, будет равен

$$L_{11} = \frac{\sum G_{12,n}}{C_{доп} - C_0}, \quad (15)$$

на втором участке

$$L_{12} = \frac{\sum G_{12,n} - G_{11}}{C_{доп} - C_0} \text{ и т. д.} \quad (16)$$

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

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

3.11. Для расчета производительности продольной вентиляции выработки или вентиляции с распределением разрежений предлагаются следующие формулы:

концентрация определяющих вредных веществ, создаваемая стоящей машиной

$$\Delta_1 C = \frac{q_n C_n}{F_{доп} u}, \quad (17)$$

то же машиной, движущейся в направлении воздушного потока

$$\Delta_2 C = \frac{q_n C_n}{F_{доп} (v - u)}, \quad (18)$$

то же против потока

$$\Delta_3 C = \frac{q_n C_n}{F_{доп} (v + u)} \quad (19)$$

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

$$C_{\text{итог}} \leq C_{\text{ф}} + n_1 \Delta C + n_2 \Delta C + n_3 \Delta C, \quad (20)$$

В формулах (17)–(20):

$C_{\text{ф}}$ ,  $C_{\text{н}}$  и  $C_{\text{д}}$  – концентрации определяющих вредных веществ соответственно предельно допустимая, фоновая (в воздухе, забираемом: снаружи) и в выхлопных газах автомашин, мг/м<sup>3</sup>;

$q_{\text{д}}$  – расход выхлопных газов одной автомашиной, м<sup>3</sup>/с;

$u$  – скорость движения воздуха по выработке, м/с;

$V$  – средняя скорость движения автомашин, м/с;

$n_1$ ,  $n_2$ ,  $n_3$  – 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 неявном виде. Расчет надо начинать с первого по ходу движения воздуха по выработке участка затем – для следующего. При распределенной раздача воздуха равномерно 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 методики и вспомогательные графики для таких расчетов, оставленные с учетом наличия на приработном участке одной маневрирующей автомашины и одной стоящей под погрузкой (кроме машин, находящейся в движении).

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

### Прочие условия

3.13. Вентиляция параллельных выработок, соединяемых сбоями, 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 воздухопроводов:

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

Такое сочетание 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.

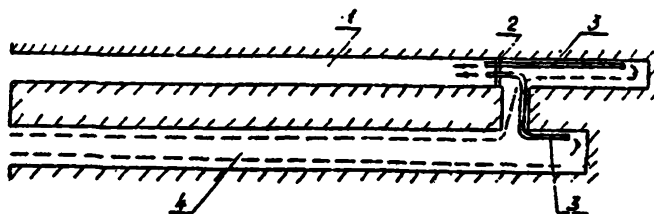


Рис.6. Комбинированная схема вентиляции:  
1 - "рабочая" выработка; 2 - перегородка; 3 - отводящий воздухопровод; 4 - выработка, по которой идет транспортировка;

Расчет производительности вентиляции сводится к определению расхода воздуха  $L_1$  по "рабочей" транспортной выработке (продольная вентиляция по п.3.11) и расходов  $L_2$  и  $L_3$  воздуха в мертвых зонах вентиляции тупиковых участков обеих выработок (п.3.1-3.10).

Расход воздуха в конце объединяющей выработки  $L_2$  должен приниматься на 10-15 % больше большей из двух величин:  $L_1$  и  $L_1 + L_2$ . В начале этой выработки (у портала) расход берется столько, чем  $L_1$ , на величину подбора через перегородки, установленные в обоих (рассматриваемая выработка должна находиться под разряжением);

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

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

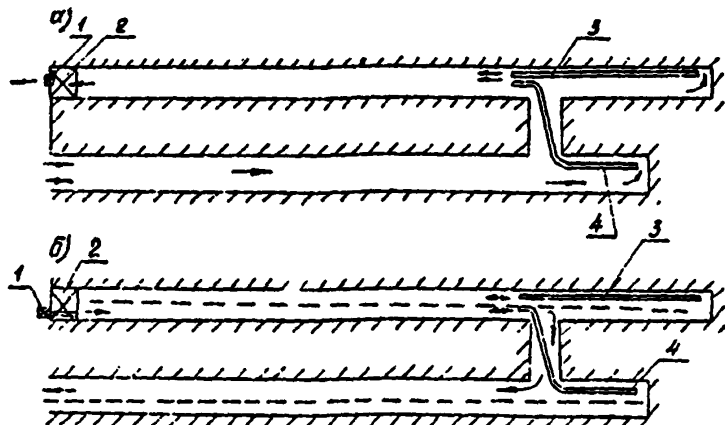


Рис. 7. Комбинированная система вентиляции:  
а - после взрыва в забоях; б - в период возки породы авто-  
матичеки; 1 - вентилятор; 2 - шлюз; 3 и 4 - воздухопроводы;  
— направление движения воздуха; --- путь автомобиля

1. Режим проветривания одного из забоев после взрыва о от-  
водом отсасываемых газов в одну из выработок (лучше меньшего се-  
чения), из которой на время прохождения газового облака люди пе-  
реходят в соединенную выработку; необходимость простоя компенсирует-  
ся экономией времени проветривания обоих забоев за счет возможно-  
сти создания в них более интенсивной вентиляции при тех же или  
меньших энергетических затратах (аэродинамическое сопротивление  
выработок значительно меньше, чем воздухопроводов); время прохожде-  
ния газового облака  $\tau_p$ , с, по выработке длиной  $l_{выр}$  и средней  
по длине площади поперечного сечения  $F_p$  определяется выражением

$$\tau_p = \frac{F_p (l_{выр} - \delta_p)}{L}$$

где  $L$  - расход воздуха,  $m^3/c$ .

2. Режим проветривания выработок, соединенных последователь-  
но через крайнюю обойку, расход воздуха при этом режиме определя-  
ется как для продольной вентиляции условной выработки, имеющей  
длину, равную сумме длин обеих выработок (включая глухие участки)  
и обойки между ними (см. пп. 3.7 - 3.10).

3.14. Вентиляция выработки при задании в ней сверхочных работ  
практически возможна только по обобщенной схеме без использо-  
вания местных отсосов. Делательны приточные системы: продольные,  
распределенные или каскадные.

Их производительность следует определять на расчете разбавления выделяющихся вредных веществ.

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

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

При определении воздухообмена по сварочным взвесьям следует учитывать и оседание на стенках тоннеля; первоначальная концентрация  $C_0$  в зоне сварки изменится и на расстоянии  $x$  (очистка в сторону движения воздуха) будет

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

где  $\beta$  — коэффициент, имеющий значения для выработок с туннельной 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 технологий их ведения производительность систем вентиляции должна рассчитываться по наибольшему числу людей  $n_k$ , одновременно занятых в облучиваемых этими системами выработках

$$L_k > \frac{n_k}{10} \cdot \text{м}^3/\text{с},$$

и по минимально допустимой скорости  $u_{\text{min}}$  движения воздуха по выработке

$$L_{\text{min}} > q \cdot F_{\text{min}} \cdot u_{\text{min}}, \text{ м}^3/\text{с}.$$

#### 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). Элементы воздуховодов изготавливаются из листового металла в промышленных мастерских.

4.2. Соединения элементов воздуховодов друг с другом рекомендуются двух типов:

фланцевые и бандажные.

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

ялки оечением 15 х 15 мм; однако более доступны прокладки из резиновой подошвы, неметализованной в 2-3 слоя и облитываемой поверхку шнуром (рис.8).

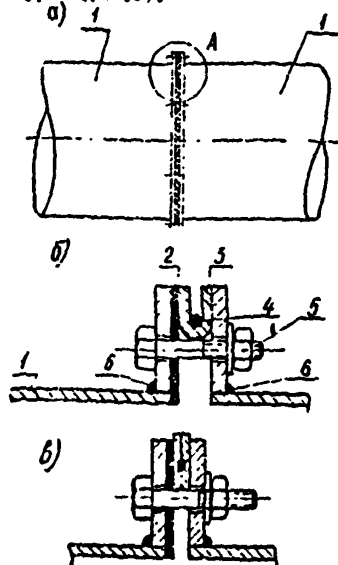


Рис.8. Уплотнения фланцевого соединения резиновой прокладкой:

а - общий вид; б - узел А (оечение) в ослабленном состоянии; в - то же в затянутом; 1 - трубы воздухопровода; 2 - суместуемая прокладка; 3 - дополнительная прокладка из резиновой подошвы; 4 - веревка; 5 - болт; 6 - фланец

Для этой же цели промышленность (завод резино-технических изделий, г.Волжский) выпускает крокладочную ленту из губчатой резины ВВ-307-Х10 марок 6208А (ширина 27 мм) и 6208Б (ширина 17 мм).

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

Проведенные стендовые эксперименты позволяют рекомендовать также в качестве опытных фланцевые соединения с прокладкой герметизатора (хлуг диаметром 30 мм), изготовляемого на заводах "Стройдеталь" Мосоделприме Главмостоотрой (г.Москва) и Псковокомбинате строительных материалов Мосообстроиматериалов по ТУ-МТИ-2-РСФСР-12-68 и ГОСТ 5.1011-71.

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

противокоррозионной защиты магистральных газопроводов, который обертывается гладкие концы стыкуемых воздухопроводов и бандаж из листовой стали, устанавливаемого на ленту (рис.9). Заводы-изготовители: Тучковский экспериментальный и Вильяковский завод полимерных изделий.

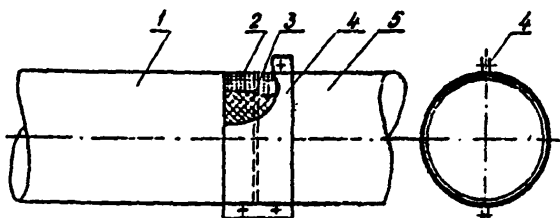


Рис.9. Бандажное соединение воздухопроводов:  
1,5 - стыкуемые воздухопроводы; 2 - липкая лента; 3 - тканевая прокладка; 4 - стальной бандаж

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

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

В качестве заменителя липкой ленты можно использовать прорезиненную ткань, нанеся на нее перед обертыванием грубый мастик Бутепрор, разогретую до 50°C (на менее 2 кг мастики на 1 м<sup>2</sup> ткани). Количество витков, ширина ленты и бандаж остаются теми же, что и для стыка с липкой лентой. Бутепрор изготавливается объединением "Победа" (Ленинград-Колпино) и объединением "Стройпластмассы" (Москва) по ТУ-21-29-45-78.

4.5. Коэффициент воздухопроницания указанных стыков, отнесенный к длине их периметра, приведен в табл.6.

4.6. Для выбора экономически оптимальных диаметров воздухопроводов дан график (приложение 8).

Аэродинамические сопротивления воздухопроводов, утечки воздуха и места установки вентиляторов находятся по номограммам приложения 9



Т а б л и ц а 6

№ п/п	Тип соединения	Коэффициент воздухопроницаемости стыков металлических труб $K_0, \frac{\text{м}^3}{\text{с} \cdot \text{Па} \cdot \text{м}^2} \left( \frac{\text{м}^3}{\text{с} \cdot \text{кгс} \cdot \text{м}^2} \right)$
1	Фланцевое с резиновым уплотнением	0,0003 (0,0010)
2	Фланцевое на гермете	0,0003 (0,0010)
3	Бандажное на липкой ленте	0,00015 (0,0005)
4	Бандажное на ткани, покрытой бутилпролом	0,0003 (0,0010)

## Тканевые воздуховоды

4.7. Звенья воздуховодов из ткани с различной пропиткой выпускаются отечественной промышленностью в комплекте с "разъемными" звеньями и фесонными частями. Звенья имеют кольца для стыкования.

Номенклатура и характеристики тканевых воздуховодов даны 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  $h_0, \text{Па}(\text{кгс}/\text{м}^2)$ , складывается из сопротивления трения  $h_1$  и сумми местных сопротивлений, создаваемых в стыках,  $h_2$ :

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

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

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

где  $\alpha$  — коэффициент сопротивления, значения которого даны в табл. 7;

$l$  — длина воздуховода, м;

$d$  — диаметр воздуховода, м;

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

$m$  — длина одного звена воздуховода, м;

$\xi$  — коэффициент сопротивления оттока (см. табл. 7).

Т а б л и ц а 7

Степень натяжения воздухо- вода	При значении критерия Рейнольдса					
	$10^5$	$2 \cdot 10^5$	$4 \cdot 10^5$	$6 \cdot 10^5$	$8 \cdot 10^5$	$10^6$
	Величина $\alpha \cdot 10^4, \text{м}^2 \cdot \text{с}^2 \cdot \text{Па} (\text{кгс} \cdot \text{с}^2)$					
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(16,50)	110(11,10)	80(8,10)	60(6,30)
Величина $\xi, \text{м}^2 \cdot \text{Па} / \text{с}^2 (\text{кгс} / \text{с}^2)$						
Независимо от натяже- ния	2,0(0,21)	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 тканевых воздуховодах, их напор должен браться больше аэродинамического сопротивления воздуховода на величину давления  $\Delta h$ , требующегося для натяжения ткани. Это давление должно создаваться путем установки соответствующей диафрагмы или наконечника на выходе.

#### Выработки

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

Нельзя отметить, что аэродинамическое сопротивление воздуховодов настолько 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 тоннельного сечения, подсчитывается по формуле

$$h = \Sigma(h_f + h_z),$$

где  $h_f$  — сопротивление трения,  $\text{Па} (\text{кгс} / \text{м}^2)$ , по длине выработок;

$$h_f = \alpha_f \frac{\rho l v^2}{2}; \quad (24)$$

$h_z$  — местное сопротивление,  $\text{Па} (\text{кгс} / \text{м}^2)$ ,  $h_z = \xi \frac{v^2 \rho}{2}$ ;

$\alpha_f$  — коэффициент сопротивления выработок; для выработок без креплений или с тубинговой обделкой

$$\alpha_f = 150 \cdot 10^{-4} \frac{\text{Па} \cdot \text{с}^2}{\text{м}^2} (15 \cdot 10^{-4} \frac{\text{кгс} \cdot \text{с}^2}{\text{м}^2}); \text{ для выработок с гладкой бетон-}$$

ной обделкой  $\alpha_1 = 100 \cdot 10^{-4} \frac{\text{Па} \cdot \text{с}^2}{\text{м}^2} (10 \cdot 10^{-4} \frac{\text{кгс} \cdot \text{с}^2}{\text{м}^4})$ ;

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

$D$  - периметр выработки, м;

$l_m$  - длина участка, м;

$u_m$  - скорость воздуха на данном участке выработки, м/с;

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

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

Учитывая, что обойки фактически используются как для складирования, так и для прохода и, соответственно, ставятся перегородки или двери самой случайной конструкции, чем нарушается предусмотренное распределение воздуха, рекомендуется в проектах давать совершенно определенные конструкции этих устройств, воздухопроницаемость которых надо вводить в расчет вентиляции; на производстве же необходимо следить за выполнением и эксплуатацией перегородок, дверей и люзов в соответствии с проектными решениями.

4.13. Расчет величины утечек через гдуху перемычку  $L_{gm}$ ,  $\text{м}^3/\text{с}$ , можно делать по формуле

$$L_{gm} = K_{gm} \rho_{gr} \sqrt{\frac{h_{gr}}{\sigma}}, \quad (25)$$

где  $K_{gm}$  - коэффициент воздухопроницаемости перемычки,

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

$\rho_{gr}$  - периметр примыкания перемычки к стенкам обойки, м;

$h_{gr}$  - статистический напор, Па ( $\text{кгс/м}^2$ );

$\sigma$  - толщина стенки, м.

Т а б л и ц а 8

№ п/п	Типы перемычек	Коэффициенты воздухопроницаемости $k_{uz} \cdot 10^5$ глухой перемычки	
		Петриноватые породы	Трациноватые породы
1	Блако- и бутаобетонные	280(90)	510(165)
2	Каменные	500(160)	870(280)
3	Блакоблочные	370(120)	680(215)
4	Чураковые	810(260)	1340(430)
5	Насыпные	870(280)	1440(460)
6	Досятые	1110(360)	1960(630)

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

$$L_{д} = 0,006 \varphi F_{д} \sqrt{h_{гг}} (L_{д} - 0,02 \varphi F_{д} \sqrt{h_{гг}}), \quad (26)$$

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

4.15. Сопоставление трех видов воздушных каналов позволяет дать следующие рекомендации:

при наличии технологических возможностей, безусловно, целесообразно использование тоннельных выработок в качестве воздухопроводов; металлические воздухопроводы являются самыми дорогими; их применение надо планировать в магистральных большой длины (свыше 1 км), при последовательной установке вентиляторов (когда в воздуховодах создаются участки разрежения) и при необходимости резервирования системы;

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

тканевые воздухопроводы 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 воздухопроводов должно придаваться большое значение, так как утечки воздуха (или подсос) не только приводят к

нарушению санитарно-гигиенических режимов в выработках и не только означают бесполезную трату 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 воздухопроводных магистралей установку через каждые 100-150 м штуцеров для подсоединения резиновых трубок с простейшими стеклянными U-образными манометрами, заполняемыми водой;

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

производителю работ обеспечивать постоянное заполнение водой манометров и периодически проверять соответствие фактической депрессии 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 аспектах вопроса.

4.17. Как правило, соединения воздухопроводов 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 шахтные машины. Например, можно рекомендовать в качестве вентилятора-добудителя при проветривании глухих забоев использовать вентиляторы МЦ вместо обычно применяемых "Проходки" или СВМ. Вентилятор МЦ весит в 3 раза меньше, чем на один номер меньше СВМ и в 5 раз меньше, чем "Проходка", что существенно для удобства передвижения; установочная мощность вентилятора МЦ-6 составляет всего 0,8 кВт, тогда как у "Проходки 5" она равна 9,5, а у СВМ-5 - 6,5 кВт. То же можно сказать и о применении вентиляторов общего назначения для рециркуляционных систем приваибойной зоны и для струйной вентиляции (см. пп.3.4, 4.24).

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

4.19. При подборе вентиляторов следует учитывать, что по мере удлинения выработок удлинится и воздушные тракты, вследствие чего их сопротивление растет, растет и требуемая производительность вентиляции (увеличиваются утечки, возрастает выделения вредных веществ). Производительность же вентиляторов в соответствии с их характеристиками падает. Это противоречие обычно разрешается тем, что воздухопроводы и вентиляторы подбирают не максимальной нагрузке, вследствие чего большую часть времени вентиляторы работают с низким КПД, выходящим за пределы нормативного установленного для промышленности ( $\eta_{\text{нл}} = 0,5$ ).

Прибегают также к установке дополнительных вентиляторов по мере удлинения выработок и воздухопроводов. Имеются решения с использованием вентиляторов с переменным числом оборотов или поворачиваемыми лопатками. Как правило, такие вентиляторы представляют собой машины большой мощности, установки которых возможно вне тоннеля (у портала или у выхты). Это обуславливает значительную депрессию в воздухопроводах 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 воздухопроводов, последовательно наращиваемых по мере углубления выработки при мало зависящей от ее длины интенсивности выделения вредных веществ, целесообразно использовать принцип последовательной рассредоточенной установки вентиляторов по длине воздухопроводов; методики определения мест установки вентиляторов дана в приложении 9;

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

4.21. Для проветривания забоев после взрывов при невозможности размещения воздухопроводов в пролетах буровой рамы можно в качестве

ве вентиляторов-побудителей использовать пневмовентиляторы или эжекторы, работающие на сжатом 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 являются установки одного или группы вентиляторов в перемычке, находящейся в каком-либо месте воздушного тракта.

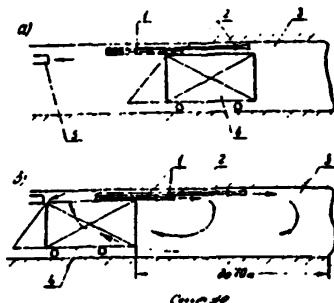


Рис.10. Проветривание забоя с помощью эжекторов:  
а - буровая рама у забоя; б - буровая рама отъезды от забоя, идет проветривание; 1 - линия сжатого воздуха; 2 - эжекторы; 3 - забой;  
4 - буровая рама; 5 - восходящий воздуховод

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

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

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

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

Вариант "в" не исключает загрязнения выбросами припортельной 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 вихления через это место, необходимости подогрева воздуха и т.п.

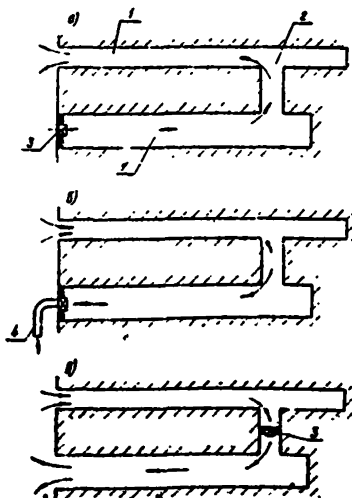


Рис. II. Схемы сквозной вентиляции, варианты а, б, в, установки вентиляторов:  
1 - выработка; 2 - сбойки; 3 - вентиляторы;  
4 - отводящий воздухопровод; — — движение воздуха



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 высокую 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. Портальная 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 воздухоораспределителе). 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 оребренные 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.

Достоинства системы в простоте ее устройства и эксплуатации.

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

#### Теплозащита припортовых участков

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

Для условий строительства тоннелей в районах с суровым климатом, в том числе и на БАМе, эта зона может достигать 400 м ширины.

Поэтому порталные проемы рекомендуется оборудовать воротами с постоянно действующими боковыми воздушными завесами. Стержневые порталы, кроме части, занитой порогами, следует неглухо заделывать.

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

В случае приточной вентиляции удаление воздуха из выработки должно осуществляться при помощи вентилятора через короткий воздухоход с устройством снаружи утепленной шахты (рис. 12, в). В случае вытяжной вентиляции (постоянной или при регулировании) приточный воздух в количестве, необходимом для компенсации вытяжки, также должен подаваться через короткий воздухоход с помощью вентилятора. Впуск воздуха в выработку осуществляется у ворот портала (рис. 12, в, б).

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

$$L_{\text{пр}} = \frac{0,88}{\rho_n} \sqrt{H^3 (\rho_n - \rho_i)} \quad (27)$$

без ворот

$$L'_{\text{пр}} = \frac{0,98}{\rho_n} \sqrt{H^3 (\rho_n - \rho_i)} \quad (28)$$

где  $B$  — ширина проема, м;

$H$  — высота проема, м;

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

4.28. Воздух для завесы следует забирать снаружи. Температура смеси наружного воздуха и выходящего из щелей завесы должна быть не ниже +2°C. Направление движения воздуха, подаваемого через щели 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.

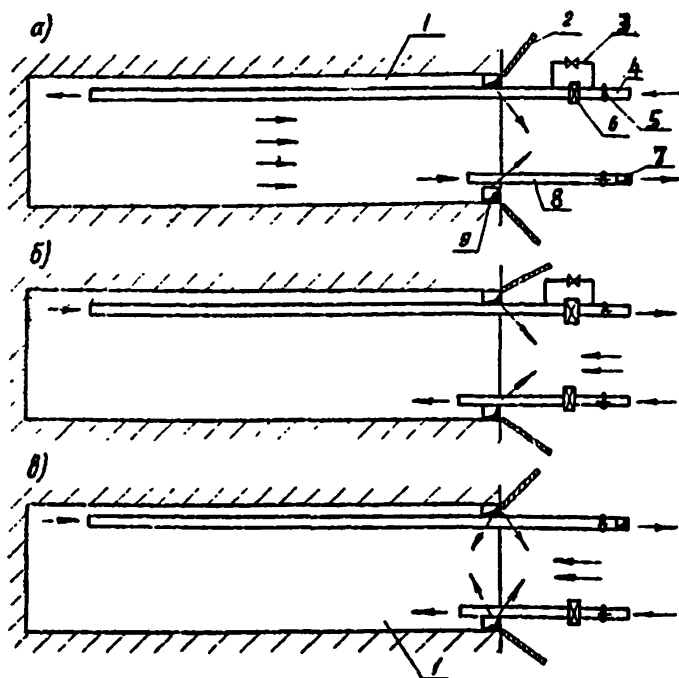


Рис. 12. Системы вентиляции и защиты припортовой зоны выработки:

а - приточная вентиляция; б - реверсирование после взрыва; в - постоянная вытяжная вентиляция; — — направление движения воздуха; 1 - выработка; 2 - отборки ворот; 3 - обводной воздухоход; 4 - вентиляционный воздухоход; 5 - вентилятор; 6 - calorifier; 7 - утепленная шахта; 8 - короткий воздухоход для компенсации притока или вытяжки; 9 - отброс воздушной завесы

4.29. Для обеспечения в любом месте выработки температуры не ниже  $t_{\text{н}}$  (приложение 3) вентиляционный воздух, подаваемый в выработку в зимнее время, должен подогреваться.

Мощность calorиферных установок определяется по формуле

$$Q_{\text{н}} = 0,35 L_{\text{вент}} (t_{\text{н,в}} - t_{\text{н}}), \text{ кВт} \quad (29)$$

$$(Q_{\text{н}} = 0,35 L_{\text{вент}} (t_{\text{н,в}} - t_{\text{н}}), \text{ ккал/ч}),$$

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

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

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

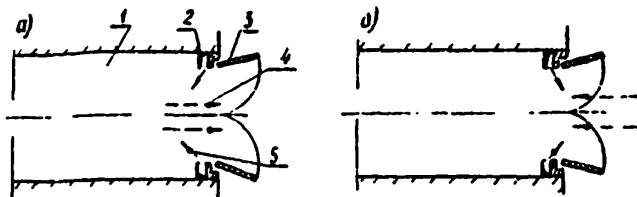


рис. 13. Направление выпуска воздуха из стоек завесы:  
а - в верхней части ворот; б - в нижней части ворот;  
1 - выработка; 2 - стойка завесы; 3 - ворота; 4 - направление движения воздуха в приток; 5 - то же, на оттоков завесы

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

Если первоначальная температура породы  $t_n$  на всем протяжении выработки или на отдельных участках менее  $t_n$ , то  $t_{\text{нст}}$  принимается:

а) при вытяжной и сквозной вентиляции  $t_{\text{нст}} = +25^{\circ}\text{C}$ ;

б) при приточной вентиляции

$$t_{\text{нст}} = t_n + \frac{M(t_n + 1)}{e^2 + 1 + 2M} (t_s - t_n), ^{\circ}\text{C}, \quad (30)$$

где  $M = 8,5 \ell_{\text{пр}} \frac{q_{\text{нст}}}{L_{\text{впр}}}$   
 $\ell_{\text{пр}}$  - длина участка, на котором  $t_n < t_s$ , м;  
 $q_{\text{нст}}$  - периметр воздуховода, м.

$$M = 3,34 \ell_{\text{пр}} \frac{q_{\text{нст}}}{L} \quad (M = 2,88 \ell_{\text{пр}} \frac{q_{\text{нст}}}{L}),$$

где  $\ell_{\text{пр}}$  - периметр выработки, м;  
 $K_c$  - средний по длине выработки коэффициент стационарного теплообмена между воздухом и породой для трехслойных портных тоннелей, находящихся в стадии проходки,  
 $\text{Вт}(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$  ( $\text{ккал}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$ )

$$K_c = 1,3 \frac{\lambda_n \left( 1 + 0,27 \sqrt{\frac{\alpha_n \tau_p}{R_n}} \right)}{0,88 \sqrt{\alpha_n \tau_p} + \frac{\lambda_n}{\alpha_n}}, \quad (31)$$

где  $\lambda_n$  - коэффициент теплопроводности породы, Вт/м<sup>2</sup>·°С)  
(ккал/м<sup>2</sup>·ч·°С);  
 $a_n$  - коэффициент температуропроводности породы, м<sup>2</sup>/ч;  
 $R_n$  - эквивалентный радиус выработки  $R_n = \frac{2f_{n\text{из}}}{\rho_{\text{порода}}}$ , м;  
 $t_p$  - время, прошедшее от начала проходки участка с  $t_n < t_p$   
до расчетного момента, ч;  
 $\alpha_n$  - коэффициент теплоперевода между воздухом и стенками  
выработки, Вт/м<sup>2</sup>·°С) (ккал/м<sup>2</sup>·ч·°С); для выработок  
в период строительства в зимнее время  
 $\alpha_n = 4,5 \frac{L^{0,4} R_n^{0,2}}{f_{\text{порода}}} \text{ Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{С} (\alpha_n = 3,9 \frac{L^{0,4} R_n^{0,2}}{f_{\text{порода}}} \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{С})$ .

При определении мощности калориферов следует учитывать тепло-  
отделения электродвигателей осевых вентиляторов, установленных в  
приточных воздуховодах.

Изотодино определения мощности калориферных установок действ-  
ствительна для выработок с любым уклоном и для вертикальных стволов.

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

4.30. Установки для нагрева вентиляционного воздуха рекоменду-  
ется располагать снаружи у портала в утепленных камерах.

Вентиляционные утепленки должны проектироваться с учетом мер  
по предотвращению обмерзания оборудования. Для этого рекоменду-  
ется:

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°С.

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

б) теплоноситель подключать так, чтобы ниже з он проходил  
те секция калориферов, которые являются первыми по ходу воздуха;

в) при выборе теплоносителя предпочтение следует отдавать  
нагретой воде;

г) устраивать автоматические системы, запирающие утепленный  
канал воздухооборного канала приточного центра при понижении  
температуры теплоносителя ниже опового 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 пылеудаления.

4.32. Локализация очагов пылеобразования в условиях промышленности обычно решается устройством укрытия, чего в большинстве случаев нельзя сделать при открытости горных выработок из-за частых перемещений источников пыли на значительные расстояния (например, рудящих органов проходческих комбайнов, ковшей экскаваторов и т.п.) или ограниченности пространства (например, пересыпки у транспортеров).

Гораздо большее применение находят способы локализации мест повышенной запыленности, осуществляемой путем создания движения воздуха в направлении от рабочих мест посредством отсоса. Такой 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 навстречу движению воздуха, при большой - вымывается из отложения. Вследствие чего увеличивается концентрация пыли.

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

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 идти на применение вентиляции, работающей "на разбавление" пыли до допустимой концентрации.

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

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

ность выделения взрозолей  $C_1$  при ЦДК<sub>2</sub>), расчетное значение предельно допустимой концентрации будет равно

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

а требуемый расход воздуха определится по формуле

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

где  $C_{ПДК}$  — фоновая концентрация пыли, предельно допустимая концентрация которой ЦДК<sub>2</sub>.

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

4.54. Одним распространенным способом гашения пыли являются ее увлажнение. При этом может примениться увлажнение до выделения пыли в воздух и увлажнение пыли, находящейся в воздухе, для ее оседания.

Данные об эффекте гашения пыли, образующейся при бурении, сг промывки водой приведены в приложении 15. Эффект увеличивается еще в 1,5–2 раза при промывке водой с добавками в нее смачивателя, простыми из которых являются поваренная соль.

Практически мокрое бурение при достаточном расходе воды обеспечивает отсутствие превышения предельно допустимой концентрации пыли в воздухе призабойной зоны.

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

Гидравлическая обычно делается на расчете закладки в штурп пакетов с водой в количестве, равном массе ВВ.

В горно-добывающей промышленности широко применяется орошение геологического облака, образующегося при взрыве.

Эффективность орошения забоя чрезвычайно велика (не только по гашению пыли, но и по поглощению тепла водой), одного оптимального количества фороунок приходится находить опытным путем на объекте [9,10] .

Чрезвычайно значение для эффекта имеет степень дробления воды в фороунках. Важно, чтобы образовывался туман с крупностью капель 10–15 мкм, что достигается в пневмофороунках при давлении воды в подводящих трубах не менее 0,4 и воздуха 0,6 МПа (6 атм).

4.35. Внешняя гидрозабойка позволяет снизить запыленность призабойной зоны после взрыва от 4 до 12 раз, что соматеримо с орошением пневмофорсушками. По [10] для внешней гидрозабойки на расстоянии около 10 м от забоя подвешиваются на высоте 1,8 м полиэтиленовые мешки, содержащие 15-25 л воды. В каждый мешок закладываются (или привязываются снаружи) обычные патроны-осевники или специальные патроны ВОСТЕЧ, которые взрываются на 25 м раньше, чем заряды в шпурах.

4.36. В выработках с автомобильной возгор (когда пылью газоза происходит повышенное пылевыведение от перевозимой породы), в периоды ведения свирочных работ по длине тоннеля и при других процессах, связанных с выделением пыли и газов, на протяжении выработки рекомендуется через каждые 300-400 м устанавливать пылеводоулавливающие завесы, состоящие из 4-5 форсунок для периодического включения на время наибольшей интенсивности выделения вредных веществ.

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

4.37. В некоторых случаях не удается использовать локализирующую вентиляцию и гидрообеспыливание и приходится прибегать к местной очистке воздуха пропуском его через пылеуловители. Особенностью таковых для условий подземных работ является ограниченность габаритов.

Как правило, пылеуловители не очищают воздух от пыли до допустимых по санитарным нормам концентраций, поэтому дополнительно надо организовать вентиляцию, работающую "на разбавление" 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 ограниченными применением воды.

Соответствующие рекомендации даны в приложении 17.

## 5. ВЫБОР СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ

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



также природно-климатические факторы, влияющие на тепловой режим сооружения в процессе его строительства.

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

- а) максимально использовать сами выработки, как каналы для транспортировки воздуха;
- б) принимать минимальное количество необходимых переключений системы 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 нарушений санитарно-гигиенических норм в других местах);
- г) исключить по возможности помехи для технологических процессов;
- д) обеспечить соответствующие вентиляционные режимы при возникновении аварийных ситуаций или быстрого перехода на эти режимы. Системы вентиляции, соответствующие перечисленным принципам и требованиям, нет, однако сопоставление различных показателей позволяет дать следующие общие рекомендации.

5.3. Схемы вентиляции тупиковых выработок должны основываться на принципе перемещения воздуха в одном направлении по тоннелю, а в другом — по воздухопроводу.

При проходе буровзрывным способом и отсутствии выделений вредных веществ по длине выработки наиболее целесообразным 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, составляющем не менее 60 % от расхода, требуемого при рабочем режиме.

Это требование может быть удовлетворено следующим образом:

- а) при укрупненных вентиляторных узлах — устройством системы клапанов и обводных каналов;
- б) переключением направления вращения осевых вентиляторов, устанавливаемых на воздуховоде; при существующих характеристиках вентиляторов их производительность в режиме реверса составляет 1/3 от производительности в прямом режиме (высоте требуемых 60 %),

в 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 воздухопроводов.

При неблагоприятных климатических условиях возникают некоторые осложнения.

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

а) основная система — приточная вентиляция, на время проветривания забоя после взрыва зарядов переключается на вытяжную;

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

Требованиям предотвращения охлаждения выработок лучше отвечает приточная вентиляция: при ее работе через большую часть сечения портала воздух выходит из тоннеля. Однако возникает осложнение в виде реверсирования системы (это один из вариантов системы); второй — только вытяжная вентиляция, компенсируемая подачей нагретого воздуха у портала (см. п.4.26).

Разработка породы специальными механизмами (комбинированными механизмами с шнеками) связана, как правило, с загрязненностью воздуха, для удаления которого предпочтительнее вытяжная вентиляция.

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

По другому решается вопрос при использовании автотранспорта, когда принцип обеспечения рабочей зоны свежим воздухом становится преобладающим.

Винужденным 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.

Неболее сложный случай — применение автоматов в сочетании с работой специальных механизмов по разработке породы. Как указы-

важность, для удаления пыли здесь нужна вытяжная вентиляция, а для выноса выхлопных газов автомашин - 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 portalу.

5.4. Для сквозных выработок дополнительно к разобраным вариантам (сквозная выработка всегда может быть разгорожена на две тупиковых) возникает возможность обойтись без воздухопроводов, создавая поток воздуха по одному из способов, отмеченных в пп.4.22-4.24. Реверсирование системы может осуществляться дублированием вентиляторов, подбором оборудования с повышающим коэффициентом  $I,8$  (п.5.3,6) и устройством систем переключения режимов.

Все ранее сказанное об особенностях приточной и вытяжной систем вентиляции полностью относится 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 ассимиляцию воздушным потоком всех вредных веществ по длине тоннеля.

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

а) работы (в том числе транспортаровка) ведутся в одной из выработок по всей ее длине; во второй - только на участке от "вентиляционной" обойки до забоя (такое сочетание соответствует, например, строительству тоннеля с подходной штольной, 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 обойке, а по штольне - в обратном направлении. Забой обеих выработок целесообразно проветривать местной вытяжной вентиляцией с выбросом загрязненного воздуха в поток, идущий по штольне. Эта же схема может быть применена и при использовании автотранспорта, если езда

идет только по штольне (периоды вззки не совпадают с моментами очищения забоев после взрывов, поэтому во время загромождения штольни продуктами взрыва люди в ней отсутствуют);

б) работы без выделения 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 воздухопровода (или воздухопроводов) не всю длину тоннеля. Производительность системы сквозной вентиляции должна быть несколько больше, чем вытяжной, чтобы за счет избытка воздуха могла проветриваться та выработка, портал которой не является "приточным". При соответствующем значении указанного избытка эта система вентиляции применима и для варианта, при котором автомашин 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 реверсироваться на время очищения забоев от взрывов и при пожаре.

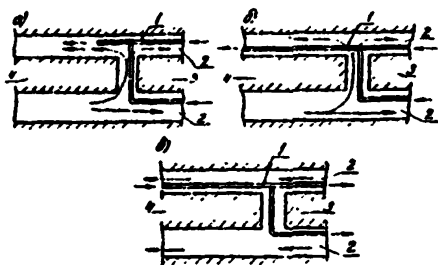


Рис. 14. Схемы вентиляции параллельных выработок с использованием сбоек:

а - работы (в том числе транспортировка) ведутся в одной из выработок; б - работы без выделения вредных веществ ведутся в каждой выработке; в - автотранспорт движется по обеим выработкам; 1 - воздухопровод; 2 - выработка; 3 - забой; 4 - портал

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

Мероприятия по борьбе с охлаждением выработок через порталы ничем не отличаются от ранее описанных. При наличии избытков теплоты наружный 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 устройства 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 все случаи проектирования. Цель такой систематизации состоит в том, чтобы дать ориентацию при выборе схемы вентиляции и при оценке вариантов производства работ и технологии строительных процессов.

Пример расчета вентиляции двух параллельных выработок с движением автотранспорта по каждой из них дан в приложении 18.

Т а б л и ц а 9

Способ разработки породы	Тип транспорта	Рекомендуемые схемы вентиляции одиночных тупиковых выработок с забоями	
		одним	двумя
Нормальные климатические условия			
Буровзрывной	Электрический	$/Вг+Р/ \rightarrow \leftarrow Пр$	$/Вг+М_2/ \rightarrow \leftarrow /Пр+М_4/$
	Автомобильный	$Пр \rightarrow \leftarrow Вг$	$/Пр+М_4/ \rightarrow \leftarrow /Вг+М_2/$
Разка, рыхление	Электрический	$Вг \rightarrow \leftarrow Пр$	$/Вг+М_2/ \rightarrow \leftarrow /Пр+М_4/$
	Автомобильный	$Пр \rightarrow \leftarrow Вг$	$/Пр+М_4/ \rightarrow \leftarrow Вг$
Высокая температура пород			
Буровзрывной	Электрический	$/Вг+М_2+Р/ \rightarrow \leftarrow Пр; Пр \rightarrow Вг$	$/Вг+М_2+М_4/ \rightarrow \leftarrow Пр; /Пр+М_4/ \rightarrow \leftarrow /Вг+М_2/$
	Автомобильный	$Пр \rightarrow \leftarrow Вг$	$/Пр+М_4/ \rightarrow \leftarrow /Вг+М_2/$
Разка, рыхление	Электрический	$/Вг+М_2/ \rightarrow \leftarrow Пр; /Пр+М_2/ \rightarrow \leftarrow Вг$	$/Пр+М_2+М_4/ \rightarrow \leftarrow /Вг+М_2/$
	Автомобильный	$/Пр+М_2/ \rightarrow \leftarrow Вг$	$/Пр+М_2/ \rightarrow \leftarrow Вг$
Низкая температура наружного воздуха			
Буровзрывной	Электрический	$/Вг+Н_2+Р/ \rightarrow \leftarrow Пр$	$/Вг+Н_2+М_2/ \rightarrow \leftarrow Пр$
	Автомобильный	$/Пр+Н_1/ \rightarrow \leftarrow Вг$	$/Пр+Н_1+М_4/ \rightarrow \leftarrow /Вг+Н_2+М_2/$

Способ раз- работки по- роды	Тип транс- порта	Рекомендуемые схемы вентиляции одиночных хупиковых выработок с забоями	
		одним	двумя
Резка, рых- ление	Электриче- ский	/Вт+Н <sub>2</sub> / ↔ Пр	/Вт+Н <sub>2</sub> +М <sub>8</sub> / ↔ Пр
	Автомобиль- ный	/Пр+Н <sub>1</sub> +М <sub>1</sub> / → Вт	/Пр+Н <sub>1</sub> +М <sub>1</sub> +М <sub>4</sub> / → → Вт+М <sub>2</sub> +М <sub>8</sub> /

Условные обозначения:

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

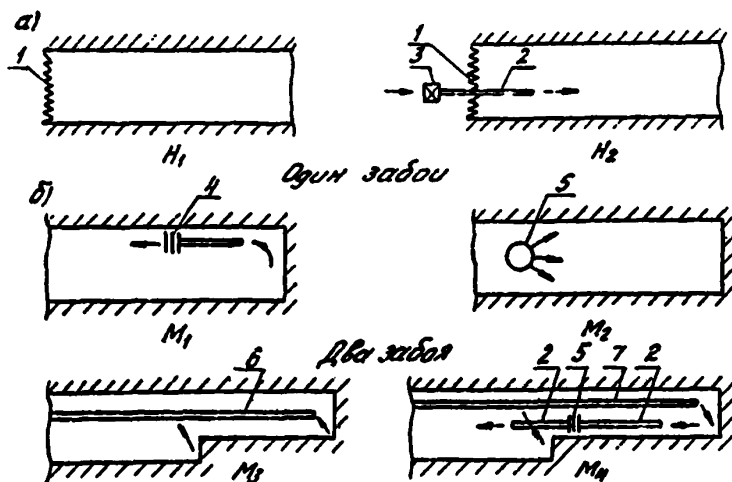


Рис. 15. Схемы теплосвязи и размещения местных отопительных-вентиляционных установок:  
в - защита порталов от охлаждения наружным воздухом; б -  
местные вентиляционные системы в забоях; 1 - воздушно-  
тепловая завеса или шлюз; 2 - воздуховод; 3 - приточная  
установка с нагревом воздуха; 4 - воздушный фильтр;  
5 - рефрижератор; 6 - воздуховод с двумя заборами воздуха;  
7 - воздуховод с двумя выпусками 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 и вентилятора (рис. 16).

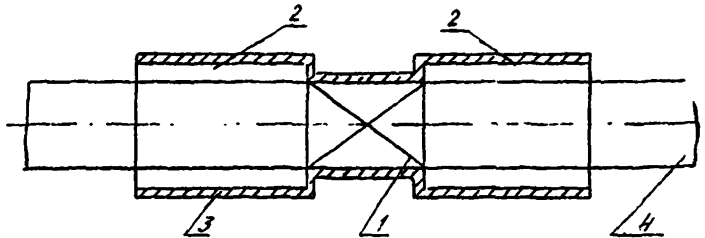


Рис. 16. Комплексная система глушения шума вентиляционных установок:  
1 - вентилятор; 2 - глушители; 3 - звукоизолирующие рубашки; 4 - воздуховод

### 6.2. Рекомендуются резонансные глушители (рис. 17).

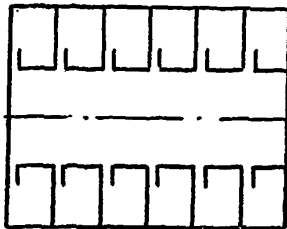


Рис. 17. Принципиальная геометрическая схема резонансного глушителя

глушителей в процессе эксплуатации. Рекомендуется изготавливать глушители из стеклопластиков, например, из холста стекловолоконного I категории качества толщиной 0,5-0,8 мм ВВ-4М ТУ-21 БССР 203-78 в 3-4 слоя и эпоксидной смолы ЭД-20 ГОСТ 10587-76 с отвердителем полиметиленаминамином и дибутилфталятом.

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

6.4. Глушители изготавливаются из любых приемлемых материалов, сохраняющих геометрическую форму глушителей

Таблица 10

Радиус воздухо- вода, мм	Радиус глушителя, мм	Эффектив- ность глу- шителя, дБ	Интервал частот, Гц	Ширина горлышка резонато- ра, мм	Длина горлышка резонато- ра, мм	Длина резона- тора, мм	Число ре- зонаторов	Длина глушителя, мм
250	500	25	63-125	12,5	101	237	7	1659
			125-250			59	13	767
		30	63-125			237	8	1896
			125-250			59	15	885
		35	63-125			237	9	2133
			125-250			59	17	1003
		40	63-125			237	10	2370
			125-250			59	19	1121
300	600	25	63-125	15	121	198	8	1584
			125-250			49	15	735
		30	63-125			198	9	1782
			125-250			49	18	882
		35	63-125			198	10	1980
			125-250			49	20	980



Продолжение табл.10

Радиус воздухо- зода, мм	Радиус глушителя, мм	Эффектив- ность глу- шителя, дБ	Интервал частот, Гц	Ширина горлышка резонато- ра, мм	Длина горлышка резонато- ра, мм	Длина резонан- тора, мм	Число ре- зонаторов	Длина глушителя, мм
		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			148 37	12 24	1776 888
400	800	35	63-125 125-250	20	162	148 37	14 27	2072 999
		40	63-125 125-250			148 37	15 30	2220 1110

6.5. Звукоизолирующие рубашки гаузитолов и вентиляторов представляют собой слоистую конструкцию, в которой должны быть предусмотрены щели и отверстия.

6.6. Звукоизолирующие рубашки изготавливаются из материала фольгоизол (ГОСТ 5.2053-73), который представляет собой слой битумного материала - изола, покрытый с одной стороны эластичной фольгой, а с другой - полистироловыми плёнкой, изготовленной из заводской кровельной и полимерных материалов (Г.Носков). Между рубашками и внешними стенками гаузитолов и вентиляторов насыпается слой песка. Толщина слоя песка при звукоизоляции не менее 20 мм по всем нормируемым интервалам частот должна быть не менее 20 мм (рис.18).

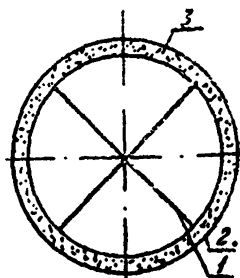


Рис.18. Возможная конструкция слоистой звукоизолирующей рубашки:  
1 - г/литол или вентилятор; 2 - звукоизолирующий цилиндр из фольгоизола; 3 - песок

# ХАРАКТЕРИСТИКИ ОСНОВНЫХ ГАЗОВЫХ ПРИМЕСЕЙ В ВОЗДУХЕ РАБОЧЕЙ ЗОНЫ ТУННЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК

№ п/п	Вещество, химическая формула, основные процессы, при которых выделяется	Относительная плотность	Предельно допустимые концентрации (ПДК), мг/м <sup>3</sup>	Класс опасности	Агрегатное состояние	Физические свойства	Физиологическое действие
I	<p>Углерода окись, CO</p> <p>При длительности экспозиции<sup>1</sup>, ч</p> <p>8</p> <p>I</p> <p>0,5</p> <p>0,25</p> <p>Взрывные работы, работа двигателей внутреннего сгорания, сварка, пожары</p>	0,97	<p>20</p> <p>50</p> <p>100</p> <p>200</p>	4	Газ	Не имеет цвета, запаха, вкуса. В воде практически нерастворим. Химически устойчив	Вытесняет кислород из гемоглобина и вызывает кислородное голодание. Систематическое вдыхание загрязненного больше нормы воздуха приводит к устойчивому перерождению крови. Смертельно опасная концентрация 2500 мг/м <sup>3</sup>

№ п/п	Вещество, химическая формула, основные процессы, при которых выделяется	Относительная плотность	Предельно допустимая концентрация (ПДК), мг/м³	Класс опасности	Агрегатное состояние	Физические свойства	Биологическое действие
2	Азот окислы, $NO, NO_2, N_2O, N_2O_4$ (приведены к $NO_2$ ) Вне зависимости от экспозиции Взрывные работы, сварка, работа двигателей внутреннего сгорания	1,59	5	2	Газ	Имеет бурый цвет, острый запах. Смесь с воздухом может расслаиваться. Активно растворяется в воде	Раздражает слизистые оболочки дыхательных путей и глаз, отравляющее действие сказывается не сразу, в черз длительное время после экспозиции (от 4 до 30ч) смертельно опасная концентрация 500 мг/м³
3	Акролеин $CH_2=CHCHO$ Работа двигателей внутреннего сгорания (одна из альдегидов)	1,90	6,2	2	Пар	Не имеет цвета, запах горелого масла. Хорошо водорастворим	Раздражает слизистые оболочки. Смертельно опасная концентрация 150 мг/м³

п/п	Вещество, химическая формула, основные процессы, при которых выделяется	Относительная плотность	Предельно допустимая концентрация (ПДК), мг/м³	Класс опасности	Агрегатное состояние	Физическая характеристика	Биологическое действие
4	Альдегиды (сложные органические соединения)  Формальдегид $HCHO$  Образуется при работе двигателя внутреннего сгорания	От 1,50 до 5,70  1,04	5,0  0,5	2 и 3  2	Пары	Специфический запах. Легко растворим в воде	Раздражает слизистые оболочки, вызывает некроз кожи, нарушает пищеварение
5	Углерода двуокись $CO_2$  —  Дыхание людей, взрывные работы, работа двигателя внутреннего сгорания, сварка	1,52	1000	—	Газ	Бесцветен. Слабый кислотный запах. Водоразстворим. Чувствительность ослабляется	Вызывает кислородную недостаточность. Смертельно опасная концентрация 20 000 мг/м³
6	Сернистый ангидрид	2,22	10	3	Газ	Бесцветен. Запах специфический. Водоразстворим. Может отслаиваться	Раздражение дыхательных путей и глаз. Смертельно опасная концентрация 1430 мг/м³

№ п/п	Вещество, химическая формула, основные проценты, при которых выделяется	Относительная плотность	Предельно допустимые концентрации (ПДК) <sub>з</sub> мг/м³	Класс опасности	Агрегатное состояние	Физические свойства	Физиологическое действие
7	Кислород	I, II	286 · 10³ (не менее)	-	Газ	Бесцветен, без запаха, практически не растворяется в воде	недостаток вызывает кислородное голодание. Смертельно опасная концентрация менее 140 · 10³ мг/м³ (12 л по объему)
8	Озон  Образуется при электросварке	I, 66	0,1	I	Газ	Бесцветен. Имеет специфический запах. Хорошо водорастворим	раздражает слизистые оболочки

1. Увеличение ПДК может учитываться только в том случае, если между периодами экспозиции имеются перерывы не менее 2 ч.

2. В некоторых источниках даны значения ПДК для  $N_2O$ ; для пересчета этих ПДК на  $NO_2$ , значения первых надо умножить на 0,85.

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

# ХАРАКТЕРИСТИКИ ОСНОВНЫХ ПЫЛЕВИДНЫХ ПРИМЕСЕЙ (АЭРОСОЛЕЙ) в ВОЗДУХЕ ТОННЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК

№ п/п	Пыль	Предельно допусти- мая кон- центрация (ПДК) <sub>з</sub> мг/м <sup>3</sup>	Класс опасности	Физиологическое действие
1	Кремнесодержащая с содержанием свободной двуокиси кремния ( $SiO_2$ ) более 70 % (квар- цит, диасп и др.)	1	3	Уплотнение легочных тканей, частичное растворение и пос- тупление в кровь в виде ядо- витой кремниевой кислоты ( $H_2SiO_4$ )
	с содержанием $SiO_2$ от 10 до 70 % (гранит, шпат, слюда и др.)	2	4	действие кристаллической пыли усугубляется остроугольной формой пылинки, способству- ющая их внедрению в живые ткани
	от 2 до 10 % (слюда, углеродная пыль, глина и др.)	4	4	
2	Силикаты и силикатосодержащие есбестопородные пыли с содержанием есбеста более 10 %	2	4	То же действие, но без образо- вания $H_2SiO_4$ ; пыль легче ста- вляется от легочных тканей (по сравнению с кремнесодер- жащей)
	тапк, слюда-флогопит, мусковит и др.	4	4	
	цемент, оливин, эпидит, форстерит, глина (при содержании $SiO_2 < 2\%$ )	6	4	
3	Сварочные аэрозоли	4	4	Уплотнение легочных тканей, пос- тупление в кровь ядовитых сое- динений марганца, фтора и дру- гих присадок

Приложение 3

МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ В РАБОЧЕЙ ЗОНЕ  
ТОННЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК

№ п/п	Параметр	Едини- ца 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	м/с	0,1	-	-
	в стволах, по которым под- нимаются и опускаются люди		-	6	0,3-0,5
3	Влажность воздуха	%	-	8	-
			-	-	40-60



## Приложение 4

ХАРАКТЕРИСТИКИ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ, ВЫДЕЛЯЕМЫХ ПРИ СВАРКЕ В ТОЧЕЧНЫХ  
ВЫРАБСТКАХ

№ п/п	Виды сварочных работ	Марка электро- дов	Сила тока	Аэрозоль		NO <sub>x</sub>		Коэффи- циент не- равномер- ности K <sub>н</sub>
				Интенсив- ность, мг/с	Количе- ство на 1 кг электро- дов, г/кг	Интенсив- ность, мг/с	Количе- ство на 1 кг, мг/кг	
1	Монтаж кронштейнов под оборудование	MP-3	160	2,94	11,3	1,0	4500	0,33
2	Монтаж металлоконструкций	OSC-4	200	10,50	19,2	0,7	1370	0,51
3	Устройство освещения (подвески и пр.)	MP-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

$$\lambda = \frac{v \Delta \tau}{l_{\text{вп}}},$$

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

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

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

2. Подсчитывается безразмерная величина

$$\xi = \frac{F_{\text{вп}} v (C_{\text{ав}} - C_{\text{ф}})}{q (C_{\text{а}} - C_{\text{ф}})},$$

где  $F_{\text{вп}}$  - площадь поперечного сечения выработки, м<sup>2</sup>;

$C_{\text{ав}}, C_{\text{а}}$  и  $C_{\text{ф}}$  - концентрации определяющей вредности соответственно: предельно допустимая величина в воздухе выработки, в отработавших газах автомашины и фоновая (т.е. в воздухе, забираемом снаружи системой вентиляции), мг/м<sup>3</sup>;

$q$  - расход отработавших газов одной машиной, м<sup>3</sup>/с.

3. По графикам рис.1 и 2 на оси абсцисс находят поочередно значения величины  $\lambda$ , восстанавливаются 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  $u$  - скорость

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

5. Определяется расход по формуле

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

6. Если принята система с перераспределенной раздачей воздуха, то расчет продолжают, определяя  $\lambda_1$ ,

$$\lambda_1 = \frac{v \Delta \tau}{l_1},$$

где  $l_1 = l_{\text{вп}} - \Delta l_1$ , м;

$\Delta l_1$  - 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.

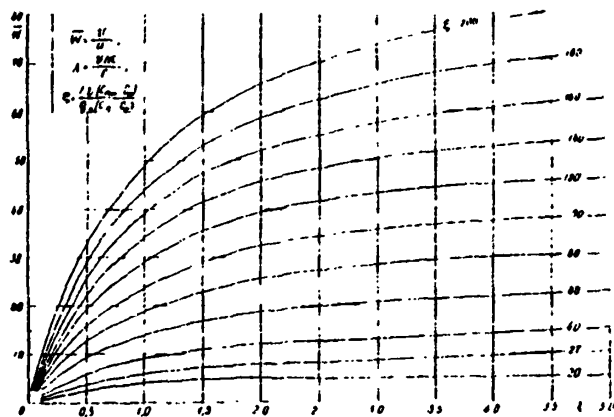


Рис.1. График расчета вентиляции участка выработки с забоями, в котором работает несколько автомашин

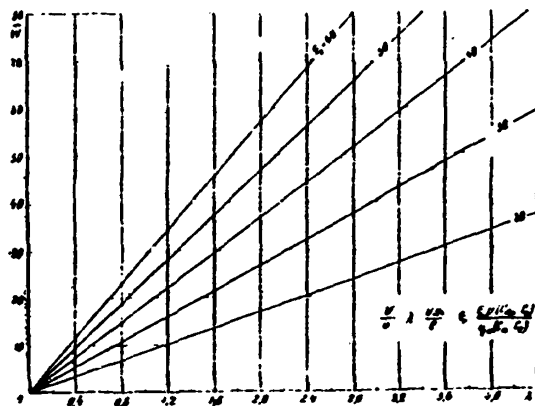


Рис.2. График расчета вентиляции промежуточного участка выработки при работе нескольких автомашин

С помощью графиков на рис.1 и 2 по  $\lambda$ , и  $\zeta$  находим  $\omega$ ,  
в этом вычислим  $\alpha$  и  $L_1$ .

Количество воздуха, выпускаемого в выработку у забоя, опреде-  
ляется

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

7. Аналогично определяют количество воздуха, выпускаемого на  
расстоянии  $\ell_1$  от портала

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

и т.д.

Графики рис.1 и 2 учитывают неравномерность движения вагона по  
выработке, необходимость маневрирования у забоя, а также разницу в  
создаваемых концентрациях вредных веществ при одностороннем  
транспорте по направлению воздушного потока и против него.

П р и м е р

А. Условий.

Вывозка взорванной породы при отработке однопутного же-  
лезнодорожного тоннеля осуществляется с помощью автомашин ДР-60,  
мощностью 60 л.с. и грузоподъемностью 6 т.

Объем взорванной породы в рыхлом теле 110 м<sup>3</sup>, плотность поро-  
ды 2,4 т/м<sup>3</sup>.

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

Площадь поперечного сечения выработки в обделке 47 м<sup>2</sup>.

Наибольшая длина выработки  $\ell_{\text{выр}} = 2000$  м.

Скорость движения автомашин  $v = 10$  км/ч = 2,8 м/с.

Концентрация определяющих вредных веществ в наружном воздухе

с<sub>ср</sub>

Б. Задача.

Найти расходы воздуха по участкам системы с равномерно  
распределенной при выпусках на расстояниях от портала  $\ell_{\text{выр}} = 2000$  м,  
 $\ell_1 = 1400$  м,  $\ell_2 = 900$  м,  $\ell_3 = 400$  м (рис.3).

В. Расчет.

Определяем временной интервал между машинами

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

1. Подсчитываем  $\lambda$  для участка  $\ell = 2000$  м

$$\lambda = \frac{v \Delta \tau}{\ell_{\text{выр}}} = \frac{2,8 \cdot 245}{2000} = 0,35.$$

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

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

(значения  $q_a$  и  $C_a$  взяты по п.2.5).

3. По графику рис.1

$$\bar{w} = 3.$$

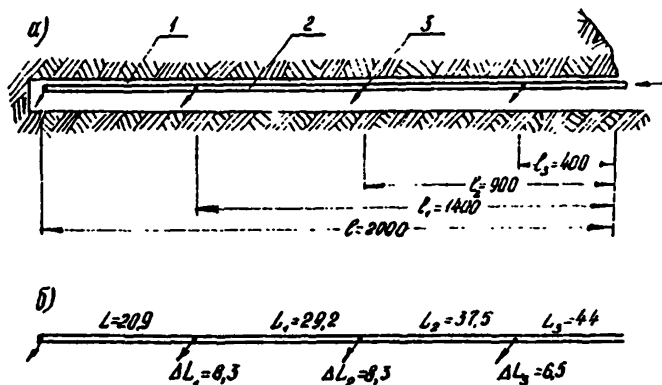


Рис.3. Схема распределенной раздачи воздуха:  
а - расчетные участки; б - распределение воздуха;  
1 - выработка; 2 - воздухопровод; 3 - выпуски воздуха.  
Длины  $l$  показаны в м; расходы  $L$  и  $\Delta L$  в м³/с

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

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

6. Определяем  $\lambda$ , для участка длиной  $l_1 = 1400$  м

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

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

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

7. Спроектируем аналогичным способом параметры для участков  $l_2 = 900 \text{ м}$  и  $l_3 = 400 \text{ м}$  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 распределения:

в конце воздухопровода (у забоя)

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

на расстоянии 1400 м от портала

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

на расстоянии 900 м от портала

$$\Delta L_2 = L_2 - L_3 = 14,8 - 6,5 = 8,3 \text{ м}^3/\text{с};$$

на расстоянии 400 м от портала

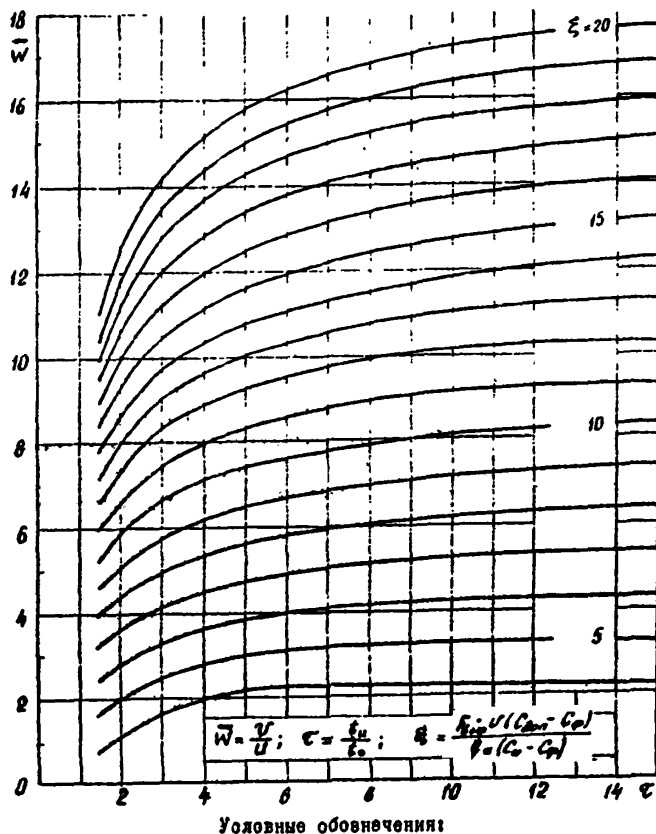
$$\Delta L_3 = 6,5 \text{ м}^3/\text{с}.$$

9. Схема раздачи воздуха показана на рис.3.

Величины расходов получены для конечного момента проходки.

В процессе строительства, пока выработка еще не достигла конечной длины, расходы будут меньше, но места выпусков воздуха должны устраиваться сразу на заранее рассчитанных расстояниях.

ГРАФИК РАСЧЕТА ВЕНТИЛЯЦИИ ВЫРАБОТОК, В КОТОРЫХ РАБОТАЮТ ОДИНОВРЕМЕННЫЕ АВТОМАТЫ (МОД 5) РЕМ. ДИЗ. АВ-ПОЛ 3А



$V$  — скорость движения транспортного средства;  
 $U$  — скорость движения воздуха;  $t_{\text{в}}$  — время про-  
 ходе транспортом расчетного участка в обе  
 стороны;  $t_{\text{о}}$  — продолжительность одного транс-  
 портного цикла;  $K_{\text{в}}$  — площадь поперечного сече-  
 ния выработки;  $q_{\text{в}}$  — расход выхлопных газов

## Приложение 7

### НОМЕНКЛАТУРА СТАЛЬНЫХ ВОЗДУХОВОДОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В РУДНИЧНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ

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

Длина звена 3; 3,5; 4 м.

Толщина стенки при диаметре до 600 мм включительно — 2 мм,  
свыше 600 мм — 2,5 мм.





оптимальной вазки, когда чем длиннее воздухоход, тем больший нужен расход), оптимальный диаметр определяется следующим образом.

Конечная длина воздухохода  $l$  делится на несколько равных участков  $n$ , каждый из которых длиной  $\frac{l}{n}$ , и определяется требуемый расход в конце каждого участка, считая его пропорциональным длине. Точнее образом, если требуемый расход воздуха в конце воздухохода длиной  $l$  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 длин ( $\frac{l}{n}$ ,  $\frac{2l}{n}$ ,  $\frac{3l}{n}$  и т.д.) по номограмме находим значение оптимального диаметра.

Затем определим среднее арифметическое значение, который и является искомым.

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

В установке идет избыточный воздух; при длине воздуховода 1800 г надо подавать в засос воздуха  $L = 9 \text{ м}^3/\text{с}$ .

Делим: длину воздуховода и расход воздуха на три части.

Для первого участка  $l_1 = 600 \text{ м}$ ;  $L_1 = 3 \text{ м}^3/\text{с}$ ;

для второго  $l_2 = 1200 \text{ м}$ ;  $L_2 = 6 \text{ м}^3/\text{с}$ ;

для третьего  $l_3 = 1800 \text{ м}$ ;  $L_3 = 9 \text{ м}^3/\text{с}$ .

Соответственно по номограмме 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 тканевых труб экономически оптимального диаметра в пределах выпускаемого ассортимента не существует. Чем больше их сечение, тем меньше приведенные затраты.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТ УСТАНОВКИ ВЕНТИЛЯТОРОВ  
НА ВОЗДУХОВОДАХ

Расстояние вентиляторов на воздуховоде производится по расчетному количеству воздуха из рабочего конца воздуховода и его характеристик (бародинамическому сопротивлению и коэффициенту воздухопроницаемости  $k_0$ ).

Длины участков, определяющих место нахождения вентиляторов, находятся по номограммам рис. 1-9. Номограммы построены следующим образом. В координатах  $h$  (статическое давление) и  $L$  (расход воздуха) вычерчены характеристики металлических воздуховодов различных диаметров и длин. На каждой характеристике даны численные значения коэффициентов утечек воздуха  $\varphi$ .

Каждая номограмма построена для определенных диаметров воздуховода  $d$ , м, длины эскал трубпровода  $m$ , м и коэффициента воздухопроницаемости  $k_0$ , значения которого приведены в табл. 6 основного текста.

В таких же координатах нанесены характеристики некоторых вентиляторов, например, Проходные-600 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. 1) берется данный по расчету расход воздуха на вытяжном конце воздуховода  $L_1$ . Пересечение перпендикуляра, восстановленного из точки  $L_1$  (например,  $L_1 = 6,06 \text{ м}^3/\text{с}$ ) с характеристикой вентилятора дает некоторую точку  $A$ , находящуюся между характеристиками воздуховодов определенной длины. Затем берут на ближайшей характеристике трубпровода соответствующее значение коэффициента утечек воздуха  $\varphi$ . Это значение коэффициента умножат на заданное по расчету количество воздуха  $L_1$ , получают значение расхода воздуха  $L_2 = \varphi L_1 = 1,051 \cdot 6,06 = 6,37 \text{ м}^3/\text{с}$ , которое соответствует производительности вентилятора для данной длины воздуховода. Это новое значение  $L_2$  ( $6,37 \text{ м}^3/\text{с}$ ) откладывают на оси абсцисс и восстанавливают к ней перпендикуляр до пересечения с характеристикой вентилятора в точке  $B$ . Затем смотрят, какая характеристика трубпровода ближе всего лежит к указанной точке пересечения с характеристикой вентилятора. В примере с  $L_1 = 6,37 \text{ м}^3/\text{с}$  подходит трубпровод длиной 320 м с коэффициентом утечек  $\varphi = 1,039$ .

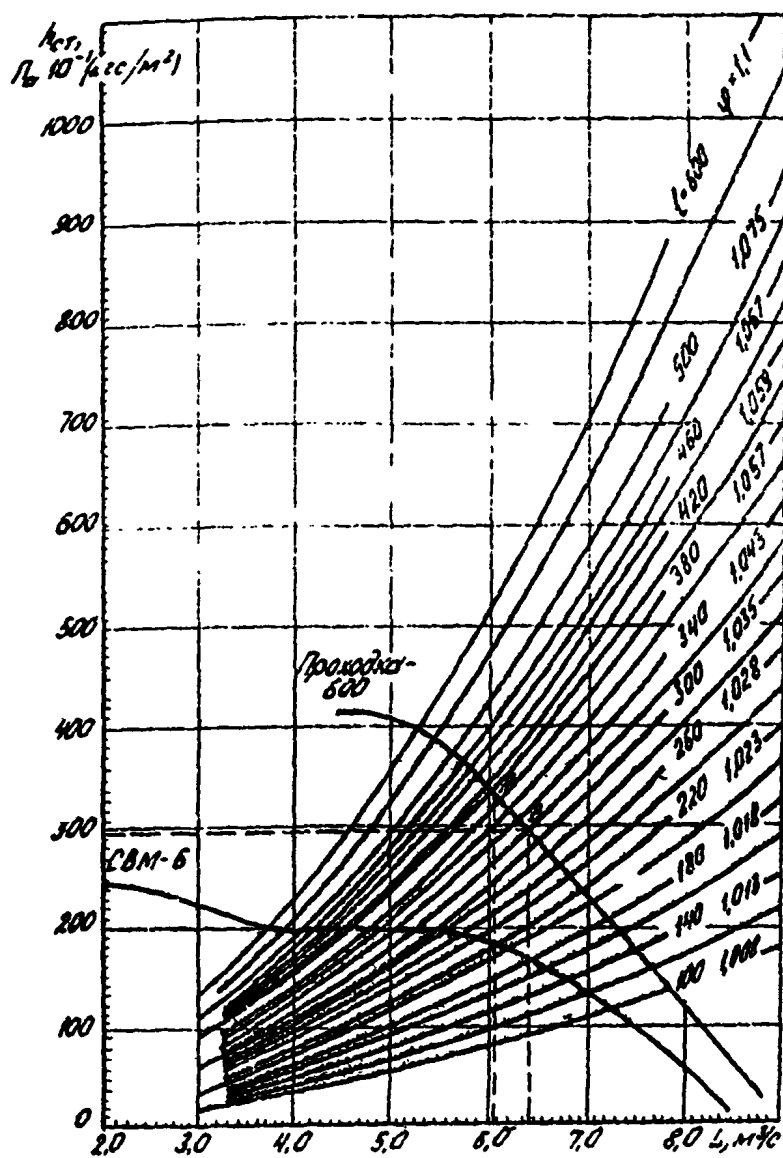


Рис. 1. Воздуховоды с  $d = 0,6$  м;  $m = 9$  м;  
 $n_0 = 0,001$

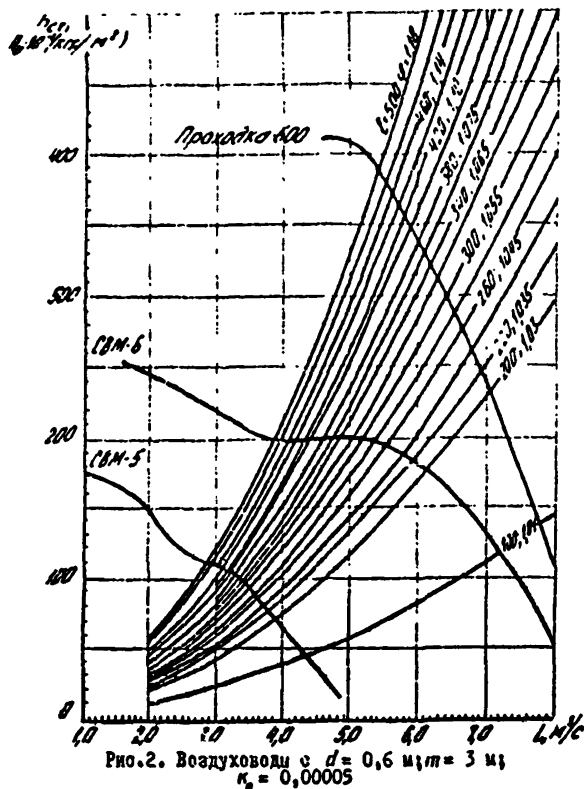


Рис.2. Воздуховоды с  $d = 0,6 \text{ м}$ ;  $m = 3 \text{ м}$ ;  
 $\kappa_0 = 0,00005$

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 с требуемой точностью точка не попадет в пересечение характеристики воздуховода и вентилятора. Эта точка укажет, на каком расстоянии следует разместить вентилятор от конца воздуховода или от приточного вентилятора.

По номограммам на рис.1-9 можно определять также сопротивление сети и осуществлять подбор вентилятора в случае установки его только у притока.

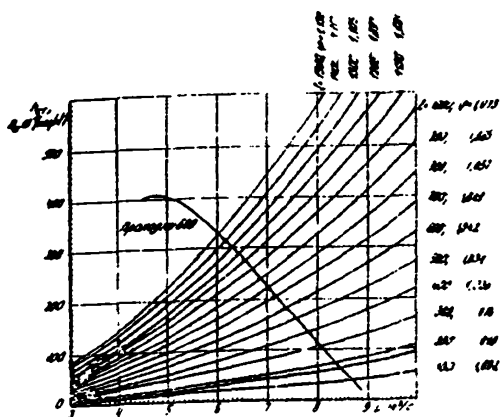


Рис.3. Воздуховоды с  $d = 0,8$  м;  $m = 9$  м;  $\kappa_0 = 0,00005$

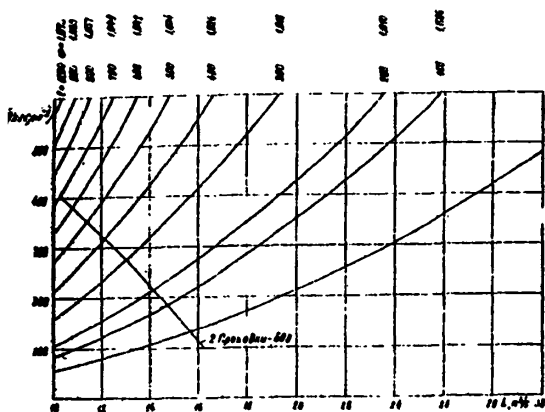


Рис.4. Воздуховоды с  $d = 0,8$  м;  $m = 9$  м;  $\kappa_0 = 0,00005$   
(продолжение номограммы рис.3)

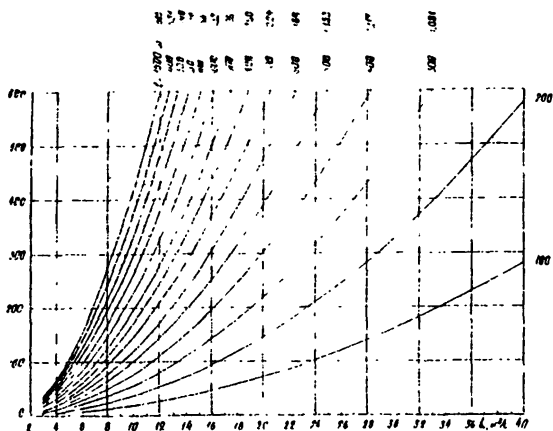


Рис.5. Воздуховоды с  $d = 1,0$  м;  $m = 3$  м;  $\eta_0 = 0,001$

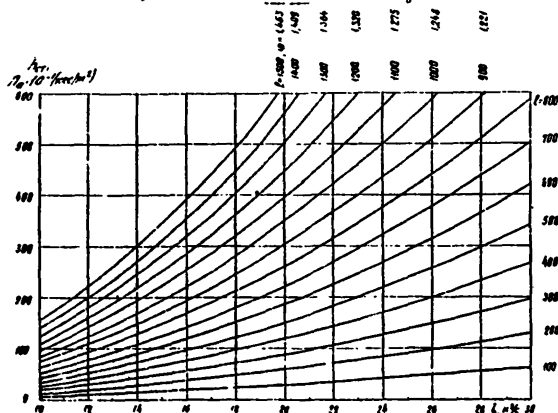


Рис.6. Воздуховоды с  $d = 1,2$  м;  $m = 3$  м;  $\kappa_0 = 0,001$

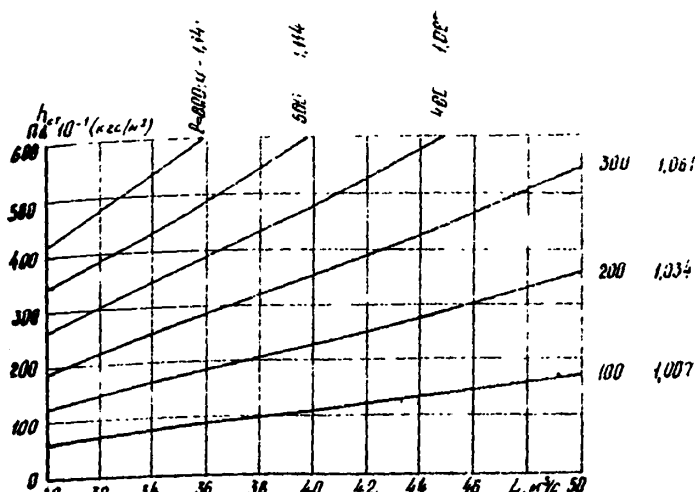


Рис. 7. Воздуховоды с  $d = 1,2$  м;  $m = 3$  м;  $\kappa_0 = 0,001$   
(продолжение номограммы рис. 6)

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

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

$$R = 8,5 \alpha \frac{L}{d^5}, \quad \frac{\text{Па} \cdot \text{с}^2}{\text{м}^5} \left( \frac{\text{кгс} \cdot \text{с}^2}{\text{м}^5} \right);$$

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

$\alpha$  - коэффициент сопротивления воздуховода;

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

от 0,8 до 0,9 м  $\alpha \cdot 10^4 = 27 \frac{\text{Па} \cdot \text{с}^2}{\text{м}^5} \left( 2,7 \frac{\text{кгс} \cdot \text{с}^2}{\text{м}^5} \right);$

от 1 до 1,2 м  $\alpha \cdot 10^4 = 20 \frac{\text{Па} \cdot \text{с}^2}{\text{м}^5} \left( 2,0 \frac{\text{кгс} \cdot \text{с}^2}{\text{м}^5} \right)$



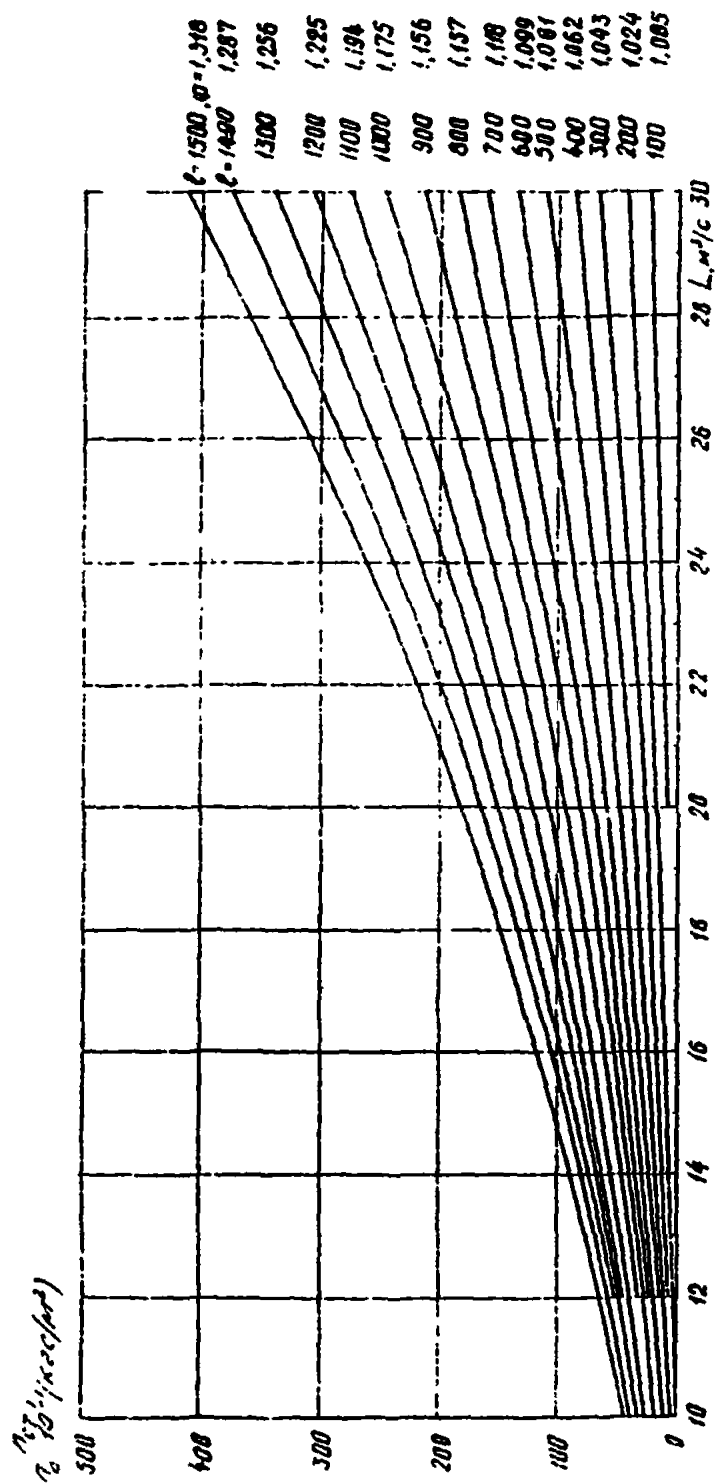


Рис. 8. Воздуховоды с  $d = 1,5$  м;  $m = 5$  м;  $\kappa_n = 0,001$

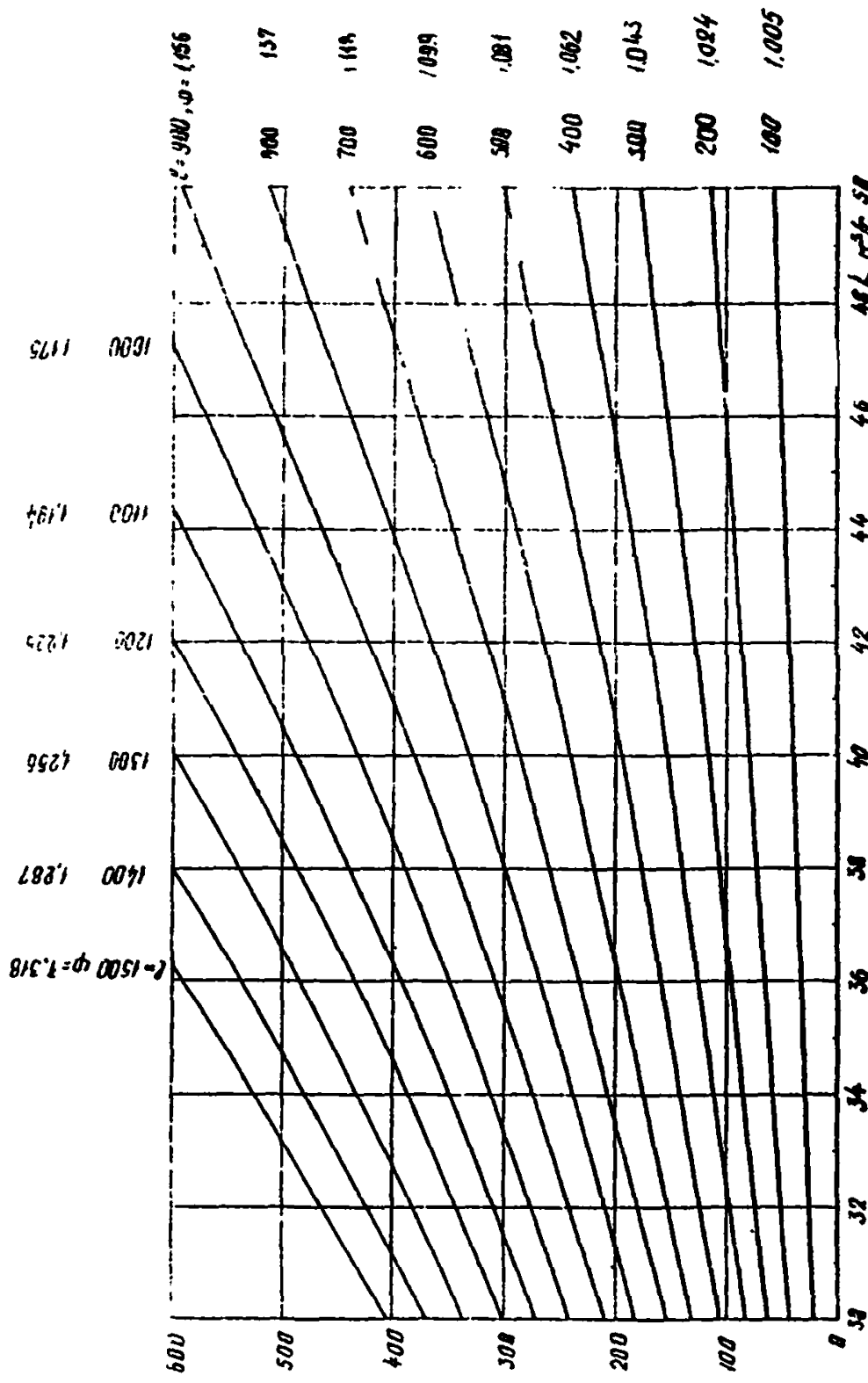


Рис. 9. Выходной с  $d = 1,5$  м;  $m = 3$  м;  $\kappa_0 = 0,001$

## ХАРАКТЕРИСТИКИ ТКАНЕВЫХ ТРУБ

Тип труб	Основа	Покрытие	Масса 1м <sup>2</sup> материала, кг	Срок службы, мес.
МУ	Чайфар	Двухстороннее негорючей резиной	1,5	22-24
ПХВ	- " -	Двухстороннее полихлорвиниловое	1,2-1,4	24-26
ПХВ-К	Высокопрочный капрон	Одностороннее полихлорвиниловое	1,0-1,1	28-30
ЧЛХВ	Комбинированная ткань	Двухстороннее полихлорвиниловое	1,0-1,2	26-28
ЧЛХР	То же	Двухстороннее негорючей резиной	1,1-1,2	26-28
ЛХВ	Лавсан	Одностороннее полихлорвиниловое	-	28-30
ЧЛХВ-У	Комбинированная ткань	Двухстороннее поливинилхлоридной смесью с добавлением углерода	1,0-1,2	26-28

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


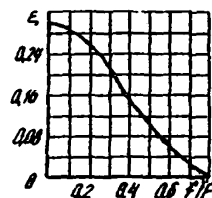
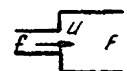
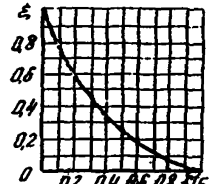

Длина звеньев для диаметров 400 и 500 мм - 5, 10, 20, 30 и 40 м;

для диаметров 600 мм - 5, 10, 20 м;

для диаметров 800-1200 мм - 5 и 10 м.

КОЭФИЦИЕНТЫ МЕСТНЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ  
ВЫРАБОТКИ

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

№ ц/п	Название, форма	Коэффициент местного сопротивления
2	<p>Внезапное сужение</p> 	<p>Значения <math>\zeta</math> отнесены к скорости <math>U</math> в сечении <math>f</math></p> 
3	<p>Внезапное расширение</p> 	<p>Значения <math>\zeta</math> отнесены к скорости <math>U</math> в сечении <math>f</math></p> 
4	<p>Поворот под прямым углом с острыми кромками</p> 	<p><math>\zeta = 1,4</math></p>

## СПОСОБЫ УПЛОТНЕНИЯ ВОЗДУХОВОДОВ

Повышенная воздухопроницаемость воздуховодов обычно обнаруживается в процессе их эксплуатации (хотя дефект мог возникнуть и при сборке), когда ремонтных связан 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.

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

№ п/п	Причина дефекта	Способы устранения
<b>А. Стальные воздуховоды</b>		
<b>Монтажные дефекты</b>		
1	Непроверенный шов	Запаять нитрошлаком, асбестовые места выжечь Замазать кабельной мастикой (см. примечание 1)
2	Негодный материал для прокладок между фланцами (мелкая толщина, недостаточная упругость)	Для одиночного стыка: ослабить болты, расклинить концы труб, заклинить пенькой или концами веревок между фланцами, замазать шов кабельной мастикой или зачеканить расширяющимся цементом (РЦ), вбить клинья, подтянуть ослабленные болты без натяга (см. примечание 2) Для многих стыков: проконопатить каждый стык (см. описание для одиночного стыка), высушить, обмазать кабельной мастикой, оклеить мешковиной, покрасить сверху кабельной мастикой (см. примечание 3)
3	Порванная межфланцевая прокладка	Зачеканить место разрыва кабелюй или концами, пропитанными кабельной мастикой

№ п/п	Причина дефекта	Способы устранения
4	Вмятины на фланцах	Вмятину зачеканить РЦ
5	Помытые концы труб при осадочном соединении	При небольших вмятинах снять бэндек, выровнять впадину на- молотком на не нужного коли- чества слоев материала, приме- ненного для прокладки (см. примечание 4)  При наличии выпуклости (вмяти- ны с внутренней стороны) снять бэндек, выправить бугор кувал- дой и устранить неровности
6	Несоответствующая овальность труб	Снять бэндек, дополнительно уложить слой прокладочного ма- териала так, чтобы его стык был сдвинут не менее чем на 1/4 окружности от стыка ранее пос- тавленного материала
7	Недостаточное прилегание прокладочного материала к трубам  Слабая затяжка болтов бэндежа	Снять бэндек и прокладку, уста- новить заново, заменив послед- нюю  Затянуть болты
<b>Эксплуатационные дефекты</b>		
8	Осадка опор воздуховода при фланцевом соединении	Ослабить болты, выровнять воз- духовод на опорах установкой прокладок (так, чтобы не было перелома воздуховода), затянуть болты
9	Осадка опор воздуховода при бэндежном соединении	Снять бэндек, выровнять воздухо- вод, уложить дополнительный прокладочный слой (см. п.6), поставить бэндек
10	Механические повреждения (помытость околостыковых участков)	Снять болты с фланцев или бэндек, винты заново, выправить его и поставить на место
11	Расстройство стыков (старение прокладок, см. примечание 5)	В бэндежном соединении заменить прокладку, при фланцевом соеди- нении см. п.2

№ п/п	Причины дефекта	Способы устранения
<b>Б. Тканевые воздухоходы</b>		
1	Пропуск воздуха в стыках. Недостаточное натяжение воздуховода	Увеличить статическое давлени- е в воздуховоде, поставив на выходе на него диафрагму
2	Износ местами покрытия из ткани	Поставить заплату соответст- венно инструкции по эксплуа- тации

**П р и м е ч е н и я:** 1. Кафельная 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 варится до окончания выделения пены и наносится в жидком состоянии.

В качестве заменителя может применяться бутепром.

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

3. Наличие выгибов и достаточность их исправления целесообразно устанавливать с помощью шаблона, имеющего форму неполного полукольца.

4. Стерение и обжатие прокладок особенно вероятно при фланцевых соединениях, работающих многократных знакопеременных температурных деформаций воздухопроводов.

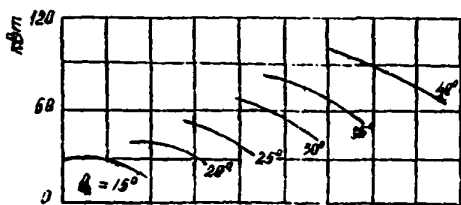


## ХАРАКТЕРИСТИКИ ОСНОВНЫХ ВИДОВ ВЕНТИЛЯТОРОВ

Параметры	Единица измерения	Типоразмеры		
		ЛП-4	ВП-5	ВП-3
Диаметр рабочего колеса	мм	400	500	300
Производительность	м <sup>3</sup> /мин	85	120	45
Давление	Па (кгс/м <sup>2</sup> )*	1400 (140)	1500 (150)	1250 (125)
Коэффициент полезного действия вентилятора		0,70	0,71	0,55
Рабочее давление свежего воздуха (воды)	МПа (кгс/см <sup>2</sup> )	0,5(5)	0,5(5)	
Расход свежего воздуха (воды)	м <sup>3</sup> /мин	4	6	
Габаритные размеры:	мм			
длина		300	300	-
высота		556	680	450
ширина		500	660	450
Масса	кг	50	75	Проект

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

Аэродинамические характеристики вентиляторов, рекомендуемых в том числе отечественных, приведены на рис. 1-8.



$\eta, \text{ П. К.}^{-1} (\text{К. Г.} / \text{М.}^2)$

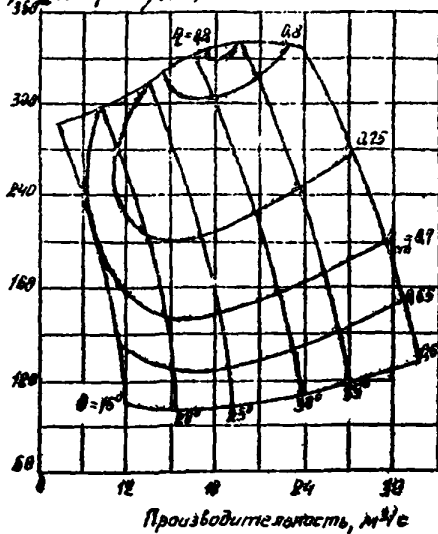


Рис. I. Аэродинамические характеристики вентилятора ВД-II при  $n = 1420 \text{ об/мин}$

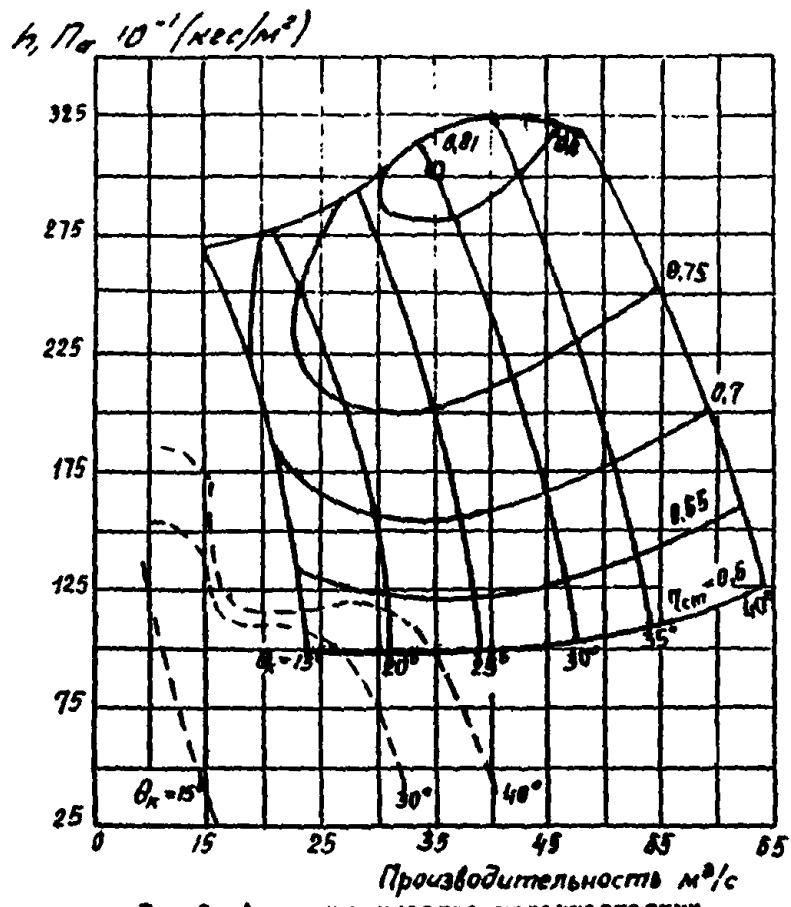
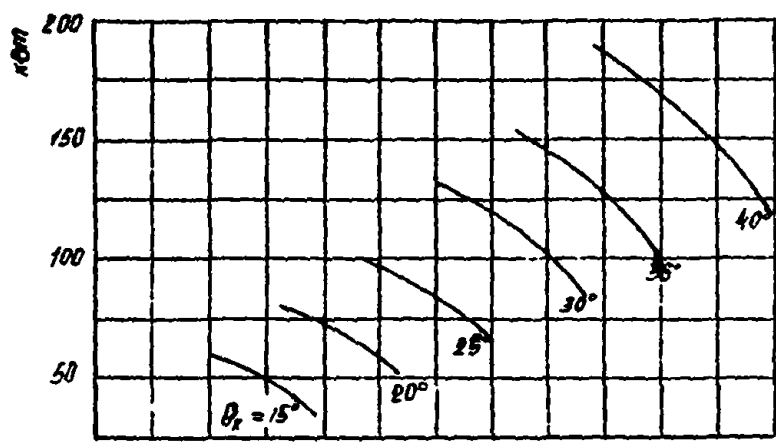


Рис.2. Аэродинамические характеристики вентилятора ВВД-16 при  $n = 980$  об/мин

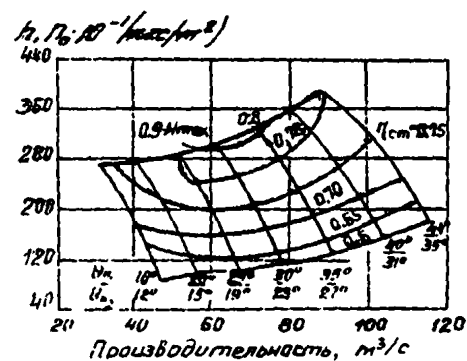
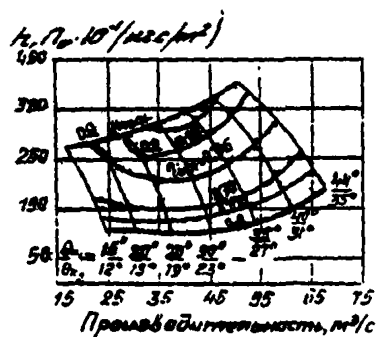
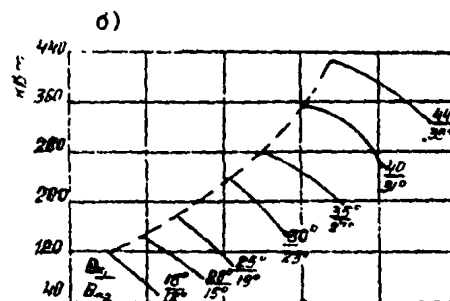
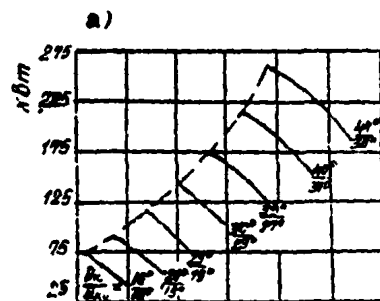


Рис. 3. Аэродинамические характеристики вентиляторов:  
а - ВВВ-16 при  $n = 980$  об/мин; б - ВВВ-21 при  
 $n = 750$  об/мин

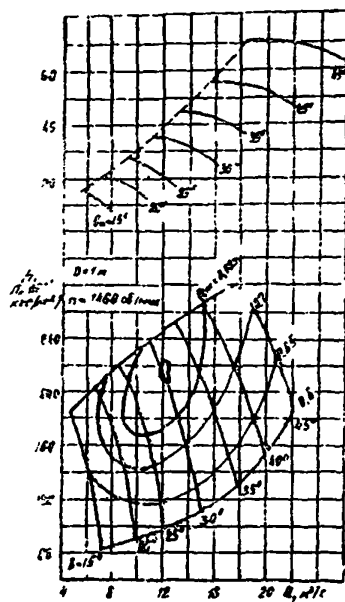
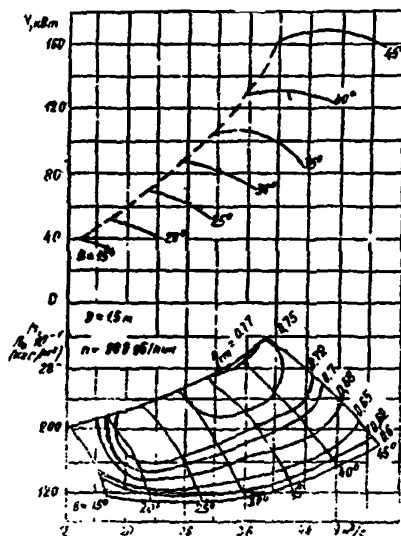


Рис. 4. Аэродинамические характеристики вентилятора ВОРД-1,0 при  $n = 1460$  об/мин

Рис. 5. Аэродинамические характеристики вентиляторов ВОРД - 1,5 при  $n = 980$  об/мин





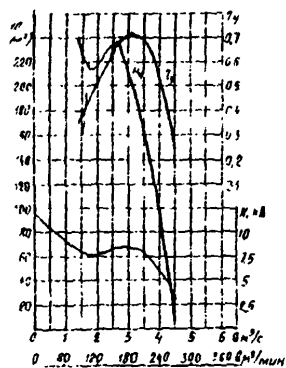


Рис. 8. Аэродинамические характеристики вентилятора "Проходко-500-2М"

#### Приложение I4

### ПРИМЕР РАСЧЕТА МОЩНОСТИ КАЛОРИФЕРОВ ДЛЯ НАГРЕВА ВЕНТИЛЯЦИОННОГО ВОЗДУХА

И с х о д н ы е д а н н ы е:

Диаметр выработки .....  $\varnothing = 8,5$  м;  
Периметр выработки .....  $P = 26,69$  м;  
Площадь поперечного сечения .....  $F_p = 56,72$  м<sup>2</sup>;  
Эквивалентный радиус .....  $R_n = 4,25$  м.

Первоначальная температура породы, окружающая выработку,  
 $t = +5^{\circ}$ ; коэффициент теплопроводности  $\lambda = 1,9$  ккал/(м<sup>2</sup>·ч·°C)  
( $\lambda = 2,237$  Вт/(м<sup>2</sup>·°C)), коэффициент температуропроводности  
 $a = 0,00318$  м<sup>2</sup>/ч

В выработке осуществляется приточная вентиляция. Диаметр  
воздуховода  $d = 0,7$  м; периметр  $p_v = 2,2$  м. По воздуховоду  
подается  $V = 10800$  м<sup>3</sup>/ч воздуха. Расчетная температура на-  
ружного воздуха  $t_n = -42^{\circ}$ C. В выработке следует обеспечить темпе-  
ратуру не ниже  $t_g = 10^{\circ}$ C. Длина выработки  $L_{в.р.} = 2500$  м; срок  
строительства 4 года или  $\tau_p = 35040$  ч.

Требуется определить мощность калориферных установок.

Температура нагрева воздуха в калориферах  $t_{ка}$  вычисляется  
по формуле (30)

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

Определяем

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

$$e'' = 75,94.$$

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

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

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



Здесь

$$\alpha_n = 4,5 \frac{L^{0,5} \rho^{0,2}}{k} = 4,5 \frac{30,8 \cdot 26,69^{0,2}}{2,4 \cdot 1 \cdot 1,928} = 4,5 \frac{56,72}{56,72} = 0,37 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}$$

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

Следовательно,

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

Отсюда

$$t_{\text{воз}} = 10 + \frac{4,75(75,94 + 1)}{75,94 + 2 \cdot 4,75} (10 - 5) = 10 + 21,1 = 31,1^\circ \text{C}.$$

Определяем мощность калориферных установок по формуле (29)

$$Q_n = 0,3 L (t_{\text{воз}} - t_n) = 0,35 \cdot 10800 (31,1 + 42) \approx 277000 \text{ Вт}.$$

# Приложение 15

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ ГИДРООБЕСПЫЛИВАНИЯ

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 призабойной части выработки перед взрыванием	0,20-0,30
Водяные завесы перед взрыванием и после него при использовании: механических оросителей туманообразователей	0,60-0,70 0,70-0,80
<b>Комплексное применение средств пылеподавления:</b>	
туманообразователи с водяной завесой из форсунок	0,88
туманообразователи с орошением призабойной 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 бросательной системы на машине	0,91-0,95
Нагнетание воды в массив, туманообразователи, внутренняя и внешняя водяные забойки	0,80-0,87

П р и м е ч а н и е. Эффективностью средства обеспыливания называется величина, равная отношению

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

- где:  $I$  - интенсивность пылевыделения при процессах, длящихся во времени, или начальная концентрация пыли при ее залповых выбросах без каких-либо средств пылеподавления;  
 $\Delta A$  - интенсивность или концентрация пыли при использовании данного средства гидрообеспыливания.

## БОРЬБА С ПЫЛЬЮ ПРИ РАБОТЕ КОМБАЙНОВ

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

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

Технические характеристики этих средств приведены в таблице.

Технические характеристики	Единица измерения	Комбайн		Установка ППУ-2
		ПК-9р	4ПП-2	
Продуктивность по отбросу воздуха	м³/мин	180	180	75-350
Расход 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 запыленный 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 запыленного воздуха от места выброса из пылеуловителя к всасывающему патрубку пылеулавливающей установки и недопущения всасывания чистого приточного воздуха вытяжным воздуховодом, воздуховодоборный патрубок вытяжного воздуховода следует располагать на участке комбайнового комплекса между всасом 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, фильтров, вентилей, 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

$$G_{\text{вод}} = q_{\text{вод}} A_n, \text{ л/мин},$$

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

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

Для борьбы с пылью при транспортировке горной массы конвейерными линиями применяются плоскоструйные эжекторы или конусные форсунки с автоматическим выключающим устройством. Места перегрузок горной массы на конвейерных линиях оборудуются типовыми укрытиями из металла или огнестойкого материала с отсосом запыленного воздуха и орошением переопыляемой породы.

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

## БОРЬБА С ПЫЛЬЮ ПРИ БУРЕНИИ ШПУРОВ В МЕРЗЛЫХ ПОРОДАХ

## I. Применение воды

Отрицательная температура породы сама по себе не является препятствием для применения воды в целях промывки шпуров при бурении. Необходимо, чтобы температура воды и режим ее подачи были таковы, при которых не было бы образования льда. В тоннельных 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:

$$t_{\text{вх}} = t_{\text{вн}} + \frac{\sigma_{\text{л}}}{\alpha} \quad t_{\text{вх}} = (1 - \omega) \cdot \frac{d_{\text{ш}}^2 \gamma_{\text{л}} \kappa (\omega_{\text{л}}^{\text{н}}) (t_{\text{вн}} - t_{\text{п}})}{4} + \frac{\pi d_{\text{ш}}^2 \gamma_{\text{л}} \kappa}{2 \pi l_{\text{ш}} \gamma_{\text{п}} c_{\text{п}}} \quad (1)$$

где

$\gamma_{\text{л}}$  и  $c_{\text{л}}$  — соответственно весовой расход, кг/л, и удельная теплоемкость воды, кДж/(кг $\cdot^{\circ}\text{C}$ ) (ккал/(кг $\cdot^{\circ}\text{C}$ ));

$t_{\text{вн}}$  и  $t_{\text{вх}}$  — температуры воды на входе в шланг и на выходе из шпура,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$t_{\text{п}}$ ,  $\gamma_{\text{п}}$  и  $c_{\text{п}}$  — соответственно температура,  $^{\circ}\text{C}$ , плотность, кг/м $^3$ , и удельная теплоемкость породы, кДж/(кг $\cdot^{\circ}\text{C}$ ) (ккал/(кг $\cdot^{\circ}\text{C}$ ));

$d_{\text{ш}}$  и  $l_{\text{ш}}$  — диаметр и длина шпура, м;

$\alpha$  — коэффициент теплоотдачи от воды к стенке шпура

$$\alpha = 5,7 \frac{(\gamma w_{\text{ш}})}{d_{\text{ш}}} - 87 / (\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}) \quad (4,9 \frac{(\gamma w_{\text{ш}})}{d_{\text{ш}}} - 110) / (\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$$

Здесь  $w_{\text{ш}}$  — скорость движения воды в шпуре, м/с;

$d_{\text{ш}}$  — эквивалентный диаметр шпура, м.

$u_{\text{др}}$  — скорость сурения скважины, м/ч;

$\omega$  — объемная влажность породы (льдистость) в долях единицы;

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

$\gamma_{\text{л}}$  — плотность воды, кг/м $^3$ ;

зная температуру воды на выходе из шпура и геометрические характеристики скважины и теплофизические константы породы, можно определить требуемую температуру воды на входе в буровую штангу. Самым неблагоприятным моментом будет окончание бурения, когда длина  $l_{\text{ш}}$  является наименьшей.

# Пример I.

Дано:  $d_n = 0,042$ ;  $L_n = 4$  м;  $v_{f,в} = 0,6$  м/мин = 36 м/ч;  
 $\rho_n = 2800$  кг/м<sup>3</sup>;  $c_n = 0,92$  кДж/кг<sup>0</sup>С)  
 $(C_n = 0,22$  ккал/кг<sup>0</sup>С);  $G = 7$  кг/мин = 420 кг/ч;  
 $s = 4,2$  кДж/кг<sup>0</sup>С) ( $s = 1,0$  ккал/кг<sup>0</sup>С);  $\gamma = 1000$  кг/м  
 $\omega = 0,1$ ;  $r = 346$  кДж/кг ( $r = 80$  ккал/кг);  $t_n = -1^0$ С.

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

Найти температуру воды на входе  $t_{в}$ , чтобы  $t_{н}$  была не менее 0<sup>0</sup>С.

Расчет начинаем с определения  $\alpha$ .

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

$$w_n = \frac{7 \cdot 10^{-3} \cdot 4}{\pi(4,2^2 - 2,5^2) \cdot 10^{-4} \cdot 60} = 0,13 \text{ м/с};$$

$$d_f = \frac{(4,2^2 - 2,5^2) \cdot 10^{-2}}{\pi 4,2^2 \cdot 0,8} = 0,027 \text{ м};$$

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

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

По формуле настоящего приложения

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

Этот расчет производился в старой системе единиц.

Вода на входе в штангу должна иметь температуру всего 2,4<sup>0</sup>С, что гарантирует отсутствие ее замерзания.

Надо отметить, что большая доля тепла идет на скрытую тепловыводения льда.

Если при бурении попадаетея ливиза, заполненная льдом, то для его расплавления температура воды на выходе в бур должна быть не менее 15°C (это не означает, что такую температуру надо поддерживать при бурении - вполне допустимо плавление только части льда и выход из скважины воды с ледяной крошкой).

П р и м е р 2.

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

Остальные условия те же, что и в примере 1.

Считая, что диаметр штанги равен 50 мм, получим:

$$\begin{aligned} \alpha &= 122 \text{ ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}) \\ \text{мпт}_{\text{л}} &\geq 0 + \frac{3,14 \cdot 10,5 \cdot 10^{-2}}{900 \cdot 1 - \frac{3,14 \cdot 10,5 \cdot 10^{-2} \cdot 122 \cdot 4}{2}} \left\{ 122 + \right. \\ &+ \frac{10,5 \cdot 10^{-2} \cdot 3 \cdot 2800 \cdot 0,22}{4} (1-0,1) + \\ &+ \left. \frac{10,5 \cdot 10^{-2} \cdot 3 \cdot 1000 \cdot 0,1 \cdot 1}{4} \right\} \Gamma + \\ &+ \frac{3,14 \cdot 10,5^2 \cdot 10^{-4} \cdot 3 \cdot 0,1 \cdot 1000 \cdot 80}{2(2 \cdot 900 \cdot 1 - 3,14 \cdot 10,5 \cdot 10^{-2} \cdot 122 \cdot 4)} = 0,5^\circ\text{C}. \end{aligned}$$

## 2. Пылеподавление антифризами.

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

Пылеподавляющее приспособление состоит из регулятора расхода жидкости, присоединяемого к перфоратору (например, ПР-30РП или ПР-30РП), резиноканавных рукавов, бачка и переходника с вентилями 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. Резиноканавные рукава предназначены для подачи скважного 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, изготовленный из давления 10 кгс/см<sup>2</sup>, служит для хранения и переноски смазывающей жидкости. Переходник, смонтированный в магистраль, служит для подачи сжатого воздуха в бак, контроля и изменения давления. На нем установлен вентиль и манометр.

Сжатый воздух из магистрали по резиноканавому рукаву подается в бак с раствором. Жидкость из бака под давлением воздуха по второму резиноканавому рукаву поступает к регулятору, из которого в заданном режиме по жидкостной трубке подается в канал буровой штанги, где смешивается с воздухом, предназначенным для продувки, и направляется непосредственно на забой ялупа. Буровой ятуб, увлажненный жидкостью, выносятся воздухом из ялупа и выпадает на почву выработки.

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

Температура воздуха, °С	Раствор хлористого натрия		Раствор хлористого кальция	
	Количество соли на 1 л воды, г	Плотность раствора при 15°С, г/см <sup>3</sup>	Количество соли на 1 л воды, г	Плотность раствора при 15°С, 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 денсиметром.

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.Магадана.

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

### 3. Сухое обеспыливание воздуха.

Принятая технология строительства тоннелей предусматривает применение специальных буровых агрегатов ПБА и "Фурекава". При одновременной работе шести тяжелых перфораторов типа БУ-1м (агрегат ПБА-1) требуется отсосивать и очищать не менее  $60 \text{ м}^3/\text{мин}$  запыленного воздуха, при работе того же количества перфораторов типа РД-100 (агрегат "Фурекава") - производительность пылесосов-всасывающей 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 колпаса для отсоса пыли от устья шпура, гибкого шланга диаметром 25-35 мм, циклона (ступень грубой очистки) и матерчатого фильтра для улавливания тонкодисперсной пыли менее 10 мкм, побудителя тяги (эжектора, выхлопного вентилятора или воздуходувки).

Максимальное количество отсосиваемого 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 телескопными перфораторами типа ПР-30К, ПР-30КС, ПРО-24Д и др. в заводском исполнении поставляются несколько типов пылеулавливающих установок: ТБЮТ СПАР-4 и ДСП-3 (количество отсосиваемого воздуха 0,4-0,5  $\text{м}^3/\text{мин}$ ) пылесосов ВНИИ-1 М-С4РД и др.

Имеется опыт централизованного удаления пыли при работе нескольких ручных перфораторов.

Заспыленный воздух от каждого перфоратора по всасывающим гибким шлангам и по центральному всасывающему трубопроводу транспортируется в осадительную камеру. Побудителем тяги служит эжектор 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

буровых машин типа БУ-1м с расходом сжатого воздуха на установку 10-12 м<sup>3</sup>/мин и суммарным расходом до 70 м<sup>3</sup>/мин.

Применять не индивидуальные пылеулавливающие установки каждой буровой машины целесообразно по условиям их размещения буровой ремы.

Для дальнейших проработок и исследований можно предложить в качестве базовой следующую схему централизованного пылеотс для буровых агрегатов ПБА-1 и "Бурек-ва" с использованием тялоффераторов типа БУ-1м и БД-100.

От устья каждого шпура отсос пыли производится через пыемый колпак, на котором устанавливается отдельный побудитель тяги - эжектор (например, Э-95 с расходом сжатого воздуха 2,5 пропускной способностью до 15 м<sup>3</sup>/мин и создаваемым разрежением 100 мм вод.ст.). Запыленный воздух по гибким шлангам от каждого эжектора через сборную камеру поступает в отдельный циклон пылевой циклон типа ЦД.

После очистки воздуха далее производится в шестерчатом с магнетитовым сгущением фильтрующей ткани. Чистый пылевые в атмосферу призабойной зоны.

Эта пылеулавливающая установка размещается на буровой реке на специальной тележке и соединяется с буровой ремой.

Сочетательный выбор побудителей тяги, типов и количества циклонов, фильтра тонкой очистки производится после детального

# ПРИМЕР РАСЧЕТА КОМБИНИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ВЕНТИЛЯЦИИ

## Условия задачи.

Железнодорожный однопутный тоннель оборудуется двумя параллельными выработками: основной – с площадью поперечного сечения  $F_0 = 62,3 \text{ м}^2$  и штольи – с  $F_s = 14,1 \text{ м}^2$ .

Штольи располагается на 20 м от основной выработки. Через каждые 300 м делается ободка выработок с той же площадью поперечного сечения, что и у штольи.

Штольи опережает тоннель на 300 м. Таким образом, получается, что максимальная длина тупиковой части основной выработки составляет  $l_1 = 300 \text{ м}$ , а штольи  $l_2 = 600 \text{ м}$  (рис.1).

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

Для уборки породы из забоя штольи необходимы 5 вздоков, основной выработки – 19 вздоков.

Наибольшая длина выработок, проходимых по указанной схеме, оставляет:

штольи  $l_1 + l_2 = 1500 \text{ м}$ ,

тоннеля  $l_1 + l_2 = 1200 \text{ м}$ .

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

для штольи  $t_{ш} = 30 \text{ мин}$ ,

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

Система вентиляции – комбинированная по схеме "окновым + вытяжным".

Требуется рассчитать воздухообмен оквзной вентиляцией в вентиляции тупиковых частей выработок для разбавления и выноса выхлопных газов автомашин. Для очистки забоев от газов после взрывов могут применяться вытяжные системы вентиляции с прокладкой воздухопроводов по выработкам (использовать воздухопроводы для удаления выхлопных газов автомашин экономически невыгодно, так как это будет существенно больших воздухообменов).

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

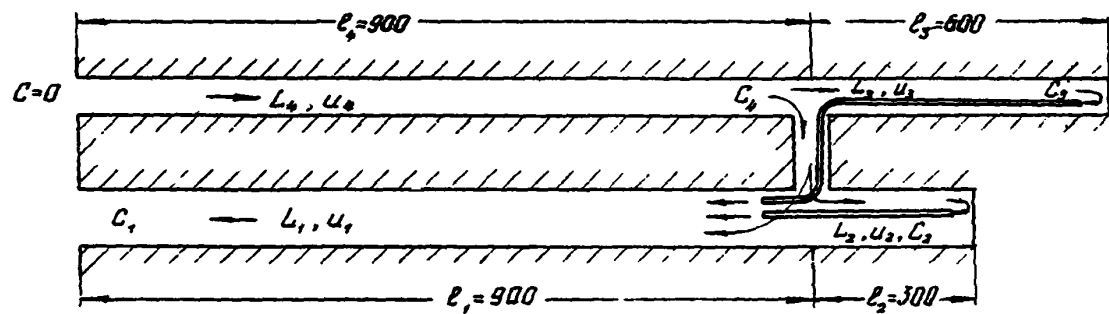


Рис. I. Расчетная схема проветривания (длины выработок  $l$  в м)

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

#### Р е ш е н и е.

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 эффективного проветривания выбрано направление потока воздуха "из штольни - в тоннель", при котором в штольне по направлению движения воздуха (наиболее неблагоприятному) будет следовать порожний транспорт, выделяющий меньшее количество газов, чем грузовой.

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  $u$ , этот воздух (расход  $L_1$ ) будет загрязняться выхлопными газами автомашин, следующей в прямом или обратном направлении, в результате чего у сбояки концентрация окиси углерода будет равна  $C_1$ .

Некоторая доля  $L_2$  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  $L_3$  идет в забой основной выработки и загрязняется там до концентрации  $C_3$ .

Воздух с концентрациями  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$  и соответствующими расходами  $L_1$ ,  $L_2$  и  $L_3 - L_2 - L_3$  смешивается в точке А основной выработки и на ее длине дополнительно разбавляет вредн. вещества от кумулирующей автомашины, в результате чего у портала концентрация становится равной  $C_4$ .

Эта концентрация не должна превышать предельно допустимой.

Пользуясь тем, что конечная концентрация не зависит от порядка поступления в воздух вредных веществ, складываем фактическую схему и условной, позволяющей упростить расчеты.

Условная схема заключается в следующем: имеется основная выработка длиной  $L_1 + L_2 = 1200$  м, проветриваемая воздухом с фоновой концентрацией  $C_0$ , реальной концентрации вредных веществ в воздухе, поступающем из вспомогательной штольни.

$$C_0 = \frac{(L_3 - L_2)C_3 + L_2C_2}{L_1}$$

Расчет ведем методом подбора. Для этого выполняем следующее:  
 а) определяем через  $c_p$  безразмерные параметры вентиляции  $\zeta$ ,  $\zeta$  и  $w$  (см. приложение 6) для основной выработки (индекс "о")

$$\bar{v}_o = \frac{v_o}{2(l_o + l_p)} = \frac{25 \cdot 60 \cdot 1,34}{2(900 + 300)} = 2,1;$$

$$\zeta_o = \frac{F_o v (c_{доп} - c_o)}{\bar{q}_o (c_o - c_a)} = \frac{62,3 \cdot 3,34 (20 - c_o)}{200 \cdot 9 \cdot 10^{-4} (1,8 \cdot 10^3 - c_o)} =$$

$$= 0,64 (20 - c_o)$$

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

Здесь  $c_{доп}$  - предельно допустимая концентрация окиси углерода, равная 20 мг/м<sup>3</sup>;

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

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

Задаваясь значениями  $c_p$ , подсчитываем  $\zeta$  и по номограмме приложения 6 находим;

б) определяем максимально необходимый расход воздуха  $L'_1$  для разбавления газов одной стоящей (под погрузкой) машиной

$$L'_1 = \frac{q}{c_p} = \frac{200 \cdot 8 \cdot 10^{-4} \cdot 1,6 \cdot 10^3}{c_p} = \frac{256}{c_p} \text{ м}^3/\text{с}$$

(параметры газовой смеси принимаем такими же, как для порожней машины);

в) определяем минимально необходимый расход воздуха  $L_1$  для разбавления газов, выделяемых одной машиной, идущей по потоку воздуха (от портала к забой).

$$L'_1 = F_o u_1 = F_o v + \frac{q c_o}{c_p} = 14,1 \cdot 3,34 + \frac{8 \cdot 10^{-4} \cdot 200 \cdot 1,6 \cdot 10^3}{c_p} =$$

$$= 47 + \frac{256}{c_p} \text{ м}^3/\text{с}; L_1 = 47 - \frac{256}{c_p} \text{ м}^3/\text{с};$$

г) по наибольшему из значений  $L_1$ , определенных по пп. "б" и "в", вычисляем  $u$  и  $w$ .

$$u_o = \frac{L_1}{F_o} = \frac{L_1}{62,3} \text{ м/с};$$

$$\bar{w}_0 = \frac{v}{u_1} = \frac{3,34 \cdot 62,3}{L_1} = \frac{208}{L_1};$$

д) полученное значение  $\bar{w}_0$  сравниваем с ранее определенным в п."в". Значение  $C_p$ , при котором величины  $\bar{w}_0$  будут достаточно близки, является искомым.

Вычисления представляем в табличной форме

$$C_p = 2,1$$

$C_p$	$\xi_0$	$\bar{w}_0$	$L_1'$	$L_1''$	$L_1^*$	$\bar{w}_0$
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	<u>2,9</u>	24,3	71,4	22,6	<u>2,90</u>

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

Определяем

$$u_1 = \frac{L_1}{62,3} = \frac{71,4}{62,3} = 1,14 \text{ м/с};$$

$$u_2 = \frac{L_1}{14,1} = \frac{71,4}{14,1} = 5,05 \text{ м/с}.$$

Расход  $L_1$  определяется соотношением

$$F_0 u_1 C_p = L_1 C_p; \text{ тогда } L_1 = L_p u_1 = \frac{L_p C_p}{C_p} = \frac{71,4 \cdot 10,5}{20}$$

$$= 37,5 \text{ м}^3/\text{с}.$$

$$\text{Соответственно } u_2 = \frac{37,5}{14,1} = 2,66 \text{ м/с}.$$

Расход  $L_2$  находим, пользуясь номограммой приложения 6.

Для этого определяем

$$\xi_2 = \frac{v}{L_2} = \frac{25,60 \cdot 3,34}{2 \cdot 300} = 8,3;$$

$$\xi_2 = \frac{F_0 v (C_{p0} - C_p)}{L_2 (C_p - C_p)} = \frac{62,3 \cdot 3,34 (20 - 10,5)}{200 \cdot 9 \cdot 10^{-4} \cdot 1789,5} = 6,15;$$

$$\bar{w}_2 = 4,2; \quad u_2 = \frac{v}{\bar{w}_2} = \frac{3,34}{4,2} = 0,8 \text{ м/с};$$

$$L_2 = F_0 u_2 = 62,3 \cdot 0,80 = 50 \text{ м}^3/\text{с}.$$



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

Подсчитываем аэродинамическое сопротивление воздушного тракта сквозной вентиляции.

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

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

То же участка I:

$$h_l = 150 \cdot 10^{-4} \frac{27 \cdot 900}{62,3} \cdot 1,14^2 = 5 \text{ Па (0,5 кгс/м}^2\text{)}.$$

Местные сопротивления (см.приложение II) определяются

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

Скоростной напор

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

Общая потеря давления на тракте

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

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

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 представлен вариант размещения вентиляторов у портала штольни. В этом случае у этого портала будет создаваться статическое давление, равное 43,8 кг/м<sup>2</sup>, обуславливающее необходимость устройства шлюза, для данного примера вполне приемлемого, так как по шлюзу, согласно условиям задачи, за транспортный цикл машина будет делать всего 5 ездов.

Конструкцию шлюза, конечно, необходимо рассчитывать на восприятие указанного давления.

Распределение статического давления по выработкам показано на рис.2.

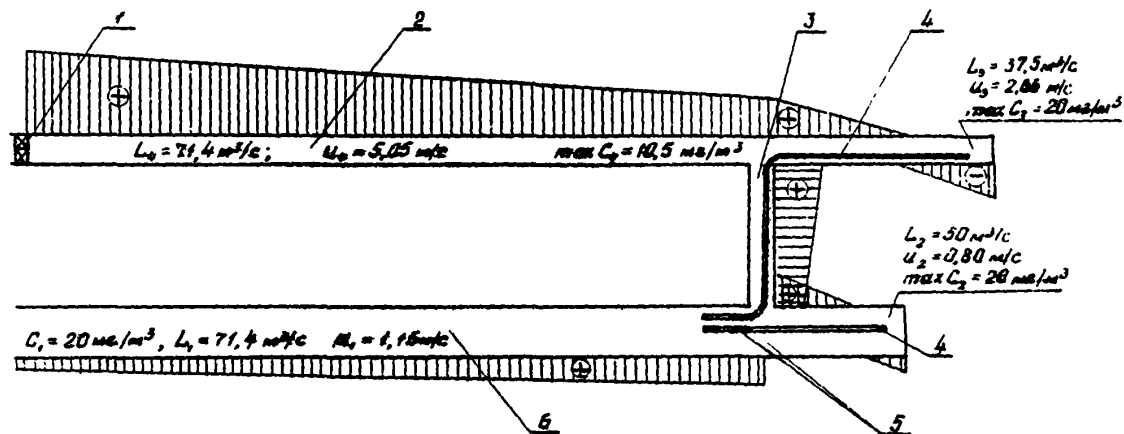
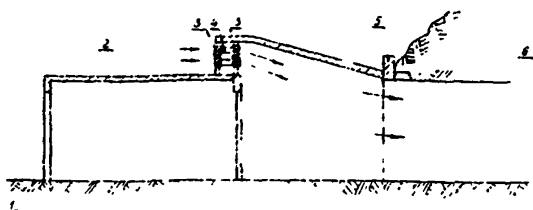


Рис.2. Распределение давлений в выработках при комбинированной вентиляции:  
 1 - вентиляторы у портала штольни; 2 - штольня; 3 - обойка; 4 - воздуховоды;  
 5 - вентиляторы местного проветривания; 6 - основная выработка



**Рис.3. Подача воздуха через портал штольни:**  
 1 - ворота; 2 - шлюз; 3 - вентиляторы; 4 - вставной между  
 вентиляторами; 5 - оголовок портала; 6 - штольня;  
 направление движения воздуха

Отметим, что узким местом системы является штольня, 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, несоизмеримые с сопротивлениями других частей воздушного тракта. Возникают осложнения с устройством насосов и т.п. Отсюда следует, что в выработках малого поперечного сечения применение автотранспорта вызывает большие трудности и значительные материальные затраты на вентиляцию.

Простая приточная вентиляция штольни 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., Гипстраспроект, 1969.
2. Тоннели. Справочно-методическое пособие. М., Транспорт, 1979.
3. Высокопроизводительные технологические схемы сооружений горных грузопортовых тоннелей. Информационный листок межведомственной информации 13-79. 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, ВНИИОМШС, 1976.
7. Р а д ч е н к о Г.А. Обоопыливающее проветривание подземных выработок. Алма-Ата, Наука, 1970.
8. Г р и ш е в В.И. Вентиляция тоннелей на железных дорогах. М., Транскондоркадет, 1961.
9. Я в н е в М.И. Бурение шпуров при проходке подземных выработок. М., Оргтрансстрой, 1971.
10. С м о б у н о в В.В. Профилактика силикоза при строительстве тоннелей и метрополитенов. М., Оргтрансстрой, 1968.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

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

## ПРИЛОЖЕНИЯ

1. Характеристики основных газовых примесей в воз- духе рабочей зоны тоннельных выработок .....	50
2. Характеристики основных пылевидных примесей (аэрозоль) в воздухе тоннельных выработок ...	54
3. Метеорологические условия в рабочей зоне тоннельных выработок .....	55
4. Характеристики вредных веществ, выделяемых при сверке в тоннельных выработках .....	56
5. Определение расходов воздуха продольной сис- темы вентиляции и системы с распределенной раздачей при автомобильной возке породы и материалов в выработке .....	57
6. График расчета вентиляции выработок, в ко- торых работают одиночные автомашины (МОАС) или дизель-поезда .....	62
7. Номенклатура стальных воздухопроводов, применяемых в рудничной вентиляции .....	63
8. Выбор диаметра воздухопровода ....	64
9. Определение мест установки вентиляторов на воздухопроводах .....	66

10. Характеристики тканевых труб .....	74
11. Коэффициенты местных сопротивлений выработки .....	75
12. Способы уплотнения воздухопроводов .....	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 шуров в мерзлых породах .....	93
18. Пример расчета комбинированной системы венти- ляции .....	99
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....	107

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

---

Подп. к печ. 18.04.83 г. Заказ 233  
Объем 7,0 л.л. Тираж 300 экз. Цена 75 коп.  
Ротапринт ЦНИИСз