МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА
ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ТРАНСПОРТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

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

Москва 1983

gost.e-ecolog.ru

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА
ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ТРАНСПОРТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

УТВЕРЖДАЮ
Зам. директора института
Н.В СМИРНОВ
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 современных тоннелей; методики расчетов вентиляции по возможности упрощены; в приложениях даны примеры.

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

Ряд предлагаемых в Рекомендациях способов вентиляции и их расчетов использовался СКБ Главтоннельметростроя при разработке [1].

Рекомендации разработали канд.техн.наук А.И.Листов, инженеры А.Б.Скавронская, М.В.Иванов, И.К.Исаев.

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

Зав.отделением транспортных зданий К.И.Хабибулин

I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

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

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

I.2. По объему материалов и их содержанию Рекомендации учитывают, что устройство систем вентиляции тоннельных выработок, их эксплуатация, а также технологические процессы строительства, влияющие на состав и температуру воздуха, как правило, ведутся по проектам, но не исключается вероятность принятия оперативных решений и их реализация строительными подразделениями при условии последующего обязательного согласования с проектной организацией.

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

низкие температуры наружного воздуха в зимнее время;

длительный период с отрицательными температурами наружного воздуха;

наличие вечномерзлых пород;

возможность высоких температур породного массива в зоне проходки тоннелей;

большая длина глухих участков тоннельных выработок;

применение при строительстве нового, в том числе импортного оборудования.

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

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

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 аэрозолей в воздухе рабочей зоны надлежит принимать по ГОСТ 12.1.005-76 "Воздух рабочей зоны. Общие санитарно-гигиенические требования"[1].

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, а также пожаро- и взрывобезопасности.

К ним относятся:

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

б) температура воздуха на отдельных участках должна соответствовать требованиям твердения бетона, бесперебойности водоотводе, сохранения мерзлого состояния породы 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 возможности

[1] Величины ПДК для углекислого газа CO_2 и минимально допустимое содержание кислорода O_2 государственными стандартами не регламентированы; их значения приведены в [2].

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

способы снижения выделений вредных веществ;

выравнивание интенсивности выделений во времени;

применение средств поглощения вредных веществ и их локализации;

тепловая защита.

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

2. ОСНОВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ВЫДЕЛЕНИЯ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ

Взрывы при разработке породы в забоях

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

окись углерода;

двуокись 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 карт [6], выпущенное ВНИИОМШС, дает более конкретные значения газовости ВВ (табл.I).

Таблица I

Условия увлажнения	Расчетные значения газовости, л/кг, при коэффициенте крепости пород по М.М.Протодьяконову							
	4	6	8	I0	I2	I4	I6	I8
Без учета влияния орошения	40	35	30	30	40	55	60	65
С учетом влияния обводненности или искусственного орошения	I0	I5	20	30	40	50	60	65

2.3. Учитывая, что крепость пород оказывает существенное влияние на газовость ВВ, а также трудности увеличения производительности вентиляции в процессе строительства, можно рекомендовать для расчетов брать величину газовости 40 л/кг до значения коэффициента Протодьяконова, равного 12, и по табл.1 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, а потому при отработке паспорта буровзрывных работ есть все основания для опробования и применения различных способов орошения забоя.

Надо иметь в виду, что некоторое завышение производительности вентиляции, могущее получиться от условности принятия газовости ВВ, совершенно не означает перерасхода средств, так как оно будет компенсироваться сокращением времени проветривания забоя.

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

$$l_г = 2\Pi \frac{A}{\gamma_г l_ш \sqrt{F_{выр}}}, \qquad (1)$$

где A – количество взрываемого вещества, кг;

$\gamma_г$ – плотность породы в естественном состоянии, т/м^3;

$l_ш$ – длина шпура, м;

$F_{выр}$ – площадь поперечного сечения выработки, м^2.

Транспортные машины с двигателями внутреннего сгорания

2.5. Для работы в подземных выработках из всех машин с двигателями внутреннего сгорания допускаются только дизельные, оборудованные нейтрализаторами отходящих газов.

Правила [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^3/мин. свежего воздуха на 1 л.с. для разбавления газов до санитарной нормы).

2.6. Приведенные требования определяют максимальные расчетные характеристики выделений отработанных газов дизельных двига-

телей на I л.с. номинальной мощности:

расход газов для машин, $м^3/с$

груженых 0,001

порожних 0,0008

концентрация условной окиси углерода для машин, $мг/м^3$

груженых 2000

порожних 1600

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

$$Q_м = 0{,}7 Q_р^н G_т, \qquad (2)$$

где $Q_р^н$ - 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 марок электродов, силы тока и вида операций приведены в приложении 4. Здесь же помещены коэффициенты неравномерности сварки $K_н$, необходимые для расчета воздухообмена.

2.9. Значение выделения тепла у одного сварочного поста может определяться

$$Q_{св} = 36 K_н J B_т (Q_{св} = 31 K_н J \text{ ккал/ч}), \qquad (3)$$

где J - сила тока, А.

2.10. Газовая сварка применяется редко и образующиеся при ней вредные вещества (CO, CO_2, углеводороды) могут не учитываться в общем газовом балансе.

Бурение шпуров и скважин

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

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

$$A_б = \Delta_{бf} V_{бур} d_{ст}^2 \gamma_г K_1 K_2 K_3, \qquad (4)$$

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

$\Delta_б$ – коэффициент размерности, определяемый по табл.2;

f – коэффициент крепости породы;

$v_{бур}$ – скорость бурения, мм/мин;

$d_ш$ – диаметр шпура, мм;

$\gamma_г$ – плотность грунта, т/м^3;

$к_1$ – коэффициент возрастания интенсивности пылевыделения при одновременной работе нескольких близко расположенных (ближе 3 м) перфораторов. Для одной машины $к_1$ = I; для двух I,7; трех 2,3; четырех 2,7. Для буровых кареток $к_1$ определяется по табл.3;

$к_2$ – коэффициент, учитывающий направленность шпура. При бурении восстающих шпуров $к_2$ = I,3; горизонтальных I,0 и нисходящих 0,7;

$к_3$ – коэффициент, учитывающий массу бурильной машины. Для ручных перфораторов (I8-25 кг) $к_3$ = I,3; тяжелых ручных (25-45 кг) I,0; легких колонковых (46-60 кг) 0,7 и тяжелых колонковых (более 60 кг) 0,5.

2.I2. Кроме определенного по формуле (4), следует учитывать дополнительное пылепоступление, обусловленное действием вентиляционного потока. При средней скорости вентиляционного потока $u_{вр}$ = 0,I-I,0 м/с дополнительное поступление пыли изменяется от I0 до 52 %.

Таблица 2

№ п/п	Способ и режим бурения	Коэффициент размерности $\Delta_б$
I	При нормализованном бурении с осевой промывкой технически чистой водой	$I55 \cdot I0^{-8}$
2	То же, но с пылесмачивающими добавками	$93 \cdot I0^{-8}$
3	При нормализованном бурении с боковой промывкой чистой водой	$93 \cdot I0^{-8}$
4	То же, но с добавкой смачивателей пыли	$57 \cdot I0^{-8}$
5	При вращательном бурении с промывкой чистой водой	$I6 \cdot I0^{-8}$
6	При ударно-вращательном бурении с промывкой скважин водовоздушной смесью	$I0 \cdot I0^{-8}$

Примечание. Для быстроударных перфораторов значение $\Delta_б$ можно принимать равным $5I2 \cdot I0^{-6}$.

Таблица 3

Буровая каретка СБУ-2		Буровая каретка "Клайнакс"	
Количество	κ_4	Количество	κ_4
I	I,0	I	I,0
2	I,4	2	I,7
-	-	3	2,4
-	-	4	3,2

2.I3. Интенсивность поступления пыли при бурении с сухим пылеулавливанием подсчитывается по формуле

$$A_б = 4{,}7\ 10^{-6} V_{бур}\ d_{ск}^2\ \gamma_п\ f\ \kappa_1\ \kappa_2\ \kappa_3\ \kappa_4\ \beta_п\ , \qquad (5)$$

где κ_1 – коэффициент, учитывающий влияние обводненности буримых пород. При бурении по сухим породам κ_1=I; по обводненным κ_1=0,I; при средней обводненности κ_1=0,5;

$\beta_п$ – коэффициент, учитывающий эффективность пылеулавливающих устройств $\beta_п$ = I,00 – 0,0I$\eta_{пл}$ ($\eta_{пл}$ – КПД пылеуловителя,%).

Для аппаратов с хорошим пылеулавливанием $\beta_п$ может быть принят от 0,0I до 0,00I (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.I4. Интенсивность поступления пыли при погрузке породы $A_{пг}$, мг/с, согласно [7] определяется по формуле

$$A_{пг} = \delta_п \cdot G_ч \cdot \rho_п . \qquad (6)$$

где $\delta_п$ – коэффициент, учитывающий размерность входящих величин, эффективность орошения и пылесмачивающих добавок. При сухой породе $\delta_п$ = 0,28, при обильном орошении массы перед погрузкой чистой водой $\delta_п$ = 0,0I4, а при орошении водой со смачивающими добавками $\delta_п$ = 0,009;

$G_ч$ – часовая производительность механизма, т/ч;

$\rho_п$ – удельное пылевыделение, г/т, определяется по табл.4.

Таблица 4

№ п/п	Погрузочные работы	Удельное пылевыделение $q_п$, г/т
I	Погрузка машинами с загребающими лопами	6,7-22
2	Ручная погрузка или перекидка горной массы	IO-I5
3	Скреперование	5-7
4	Погрузка машинами типа ПМЛ или ЭПМ	7-9
5	Погрузка экскаватором с ковшом емкостью I м^3	3-5

Примечание. Меньшие значения $q_п$ относятся к крупнокусковой породе.

3. ВЕНТИЛЯЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И РАСЧЕТ ИХ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ

Вентиляция после взрывов

3.I. Вентилятно глухих забоев после взрывов можно осуществлять приточными, вытяжными и комбинированными системами.

3.2. Производительность приточной системы $L_{пр}$, м^3/с, определяется

$$L_{пр} = \frac{4,1 \ell_{пр} F_{выр}}{\tau} lg\left(a \frac{\ell_{пр} \sqrt{a}}{\sqrt{F_{выр}}}\right), \qquad (7)$$

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

$$\ell_{пр} = 18,7 \sqrt{F_{выр}} \sqrt[4]{\frac{F_{тр}}{F_{выр}}}, \qquad (8)$$

или подбирается по табл.5.

В формулах (7) и (8) $F_{выр}$ и $F_{тр}$ – соответственно площади поперечного сечения тоннельной выработки в проходке и приточной трубы, м^2;

a – числовый коэффициент, равный 25 и 50 соответственно для $F_{выр}$ от I2 до 40 м^2 и от 4I до 95 м^2;

τ – время проветривания забоя, обычно принимается равным I800 с, но подлежит обязательному уточнению в натурных условиях при составлении паспорта буро-взрывных работ.

Таблица 5

Диаметр воздуховода, м	Максимально допустимое расстояние среза приточных труб от забоя $l_{пр}$, м, при площади поперечного сечения выработки $F_{выр}$, м²									
	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 взрывов.

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

$$l_{о} = l_{пр} + (5 \div 10) м,$$

и рециркуляционного короткого воздуховода длиной 15–20 м, питаемого самостоятельным вентилятором-побудителем или вентилятором, стоящим на всасывающем воздуховоде.

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 всаса диаметрально противоположно притоку; при этом обеспечивается наилучшее омывание призабойного пространства воздухом.

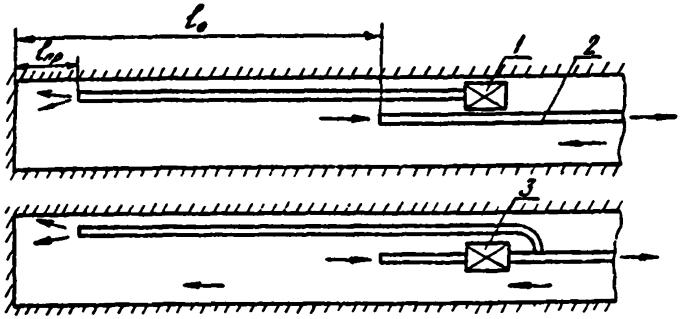


Рис.I. Комбинированные способы проветривания одиночных тупиковых забоев:
I - вентилятор-побудитель; 2 - отсасывающий воздуховод;
3 - вентилятор для рециркуляции отсоса

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

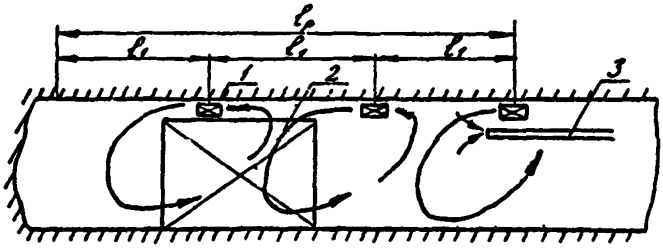


Рис.2. Рециркуляционная вентиляция в призабойном пространстве:
I - вентиляторы-побудители; 2 - загромождающая выработку конструкция; 3 - отсасывающий воздуховод

В местах I,2 и т.д. располагаются вентиляторы или группы параллельно работающих вентиляторов одинаковой производительности $L_в$, $м^3/с$, определяемой выражением

$$L_в = \frac{F_{пр} l_р}{\tau}\left[0{,}64 + 0{,}27\frac{l_1}{D}(n-1) + 4{,}42\kappa_н \lg\left(a\frac{l_р \gamma_п}{\sqrt{F_{пр}}}\right)\right], \quad (9)$$

где $l_р$ – длина зоны рециркуляции, м;

l_1 – расстояние между вентиляторами (или их группами), м, определяется как и $l_{ор}$ по формуле (8) или по табл.5;

n – количество вентиляторов (или групп), включая и приточный воздуховод, принимаемый за один вентилятор;

$D = \frac{4F_{сеч}}{P}$ – 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).

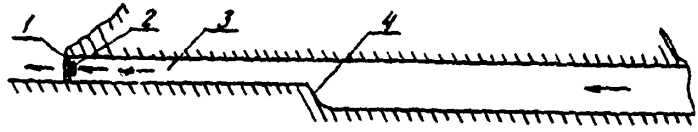


Рис.3. Сквозная вентиляция при раскрытии выработки на полный профиль:
I – перемычка; 2 – вентилятор; 3 – калотта; 4 – забой

Производительность такой вентиляции $L_с$ м^3/с, рассчитывается по формуле

$$L_с = \frac{F_{ср}(l_с + l_р)}{t_с}. \qquad (10)$$

где $F_{ср}$ – средняя по длине следования газового облака площадь поперечного сечения выработки(калотты), м^2;

$t_с$ – время очищения забоя и выработки от взрывных газов, с;

$l_с$ – длина пути, проходимого облаком до места всаса, выхода из штольни и поступления на участок, где отсутствуют люди, м;

$l_р$ – полудлина газового облака, определяемая по графику на рис.4.

Кривая I относится к сильно загроможденным выработкам с наличием поворота 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;

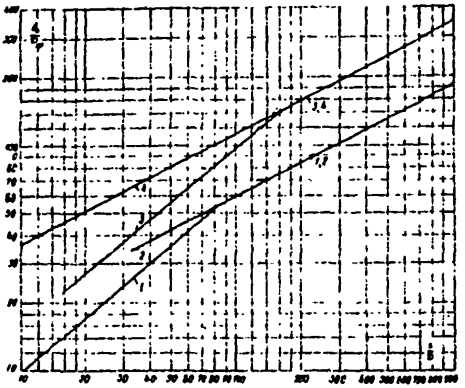


Рис.4. График возможности полуширины газового облака от длины выработки: D - диаметр выработки

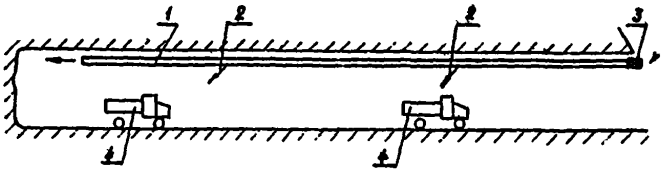


Рис.5. Система с распределенной раздачей воздуха:
I - воздуховод; 2 - перемычка; 3 - отсасывающий воздуховод;
4 - выработка, по которой идет транспортировка;

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

б) витяжная схема аналогична для тупикового забоя.

Вентиляция при рассредоточенном выделении вредных веществ

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

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

$$L_{пр} = \frac{\Sigma G_{вр}}{C_{доп} - C_{в}} \qquad (11)$$

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

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

Надо 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 дополнительно шестой (вследствие естественной неравномерности движения), выработке 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 раза, а для какого-то участка - вдвое. Далее даны предложения по количественному учету этого фактора.

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

$$L_n = \frac{G_{вр}}{C_{доп} - C_{ф}} \qquad (12)$$

В конце предпоследнего участка

$$L_{n-1} = \frac{G_{вр}}{C_{доп} - C_{ф}} \qquad (13)$$

В конце первого участка

$$L_1 = \frac{G_{вр}}{C_{доп} - C_{ф}} \qquad (14)$$

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

$$L_{в1} = \frac{\sum_1^n G_{вр,n}}{C_{доп} - C_{ф}}, \qquad (15)$$

на втором участке

$$L_{в2} = \frac{\sum_1^n G_{вр\,n} - G_{вр\,1}}{C_{доп} - C_{ф}} \quad и\ т.д. \qquad (16)$$

3.10. Вентиляционные системы выработок, в которых имеются движущиеся источники выделения вредных веществ (автомашины, 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 достичь концентрации вредных веществ в выхлопных газах.

3.11. Для расчета производительности продольной вентиляции выработки или вентиляции с распределенной раздачей предлагаются следующие формулы:

концентрация определяющих вредных веществ, создаваемая стоящей машиной

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

то же машиной, движущейся в направлении воздушного потока

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

то же против потока

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

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

$$c_{итог} \le c_{ф} + n_1 \Delta_1 c + n_2 \Delta_2 c + n_3 \Delta_3 c. \qquad (20)$$

В формулах (17)-(20):

$c_{пр}$, $c_ф$ и $c_а$ – концентрации определяющих вредных веществ соответственно предельно допустимая, фоновая (в воздухе, забираемом снаружи) и в выхлопных газах автомашин, мг/м^3;

$q_с$ – расход выхлопных газов одной автомашиной, м^3/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 раздаче воздуха разность расходов воздуха на этих участках является величиной расхода воздуха, выпускаемого на границе участков.

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

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

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

Прочие условия

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

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

а) *выделения вредных веществ распределены в забоях выработок* (например, после взрывов) и по длине одной из выработок, по ней не 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.

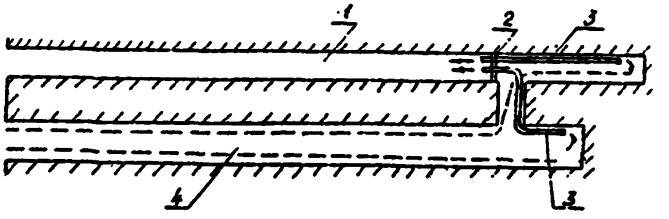


Рис.6. Комбинированная схема вентиляции:
1 – "нерабочая" выработка; 2 – перемычка; 3 – отсасывающий воздуховод; 4 – выработка, по которой идет транспортировка; 5 – путь транспорта

Расчет производительности вентиляции сводится к определению расхода воздуха L_1 по "рабочей" транспортной выработке (продольная вентиляция по п.3.II) и расходов L_1 и L_2 вручную в местных системах вентиляции тупиковых участков обеих выработок (пп.3.I-3.I0).

Расход воздуха в конце объединяющей выработки L_0 должен приниматься на I0-I5 % больше большей из двух величин: L_1 и $L_1 + L_2$. В начале этой выработки (у портала) расход берется большим, чем L_0 на величину подсоса через перемычки, установленные в обоих (рассматриваемая выработка должна находиться под разрежением);

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

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

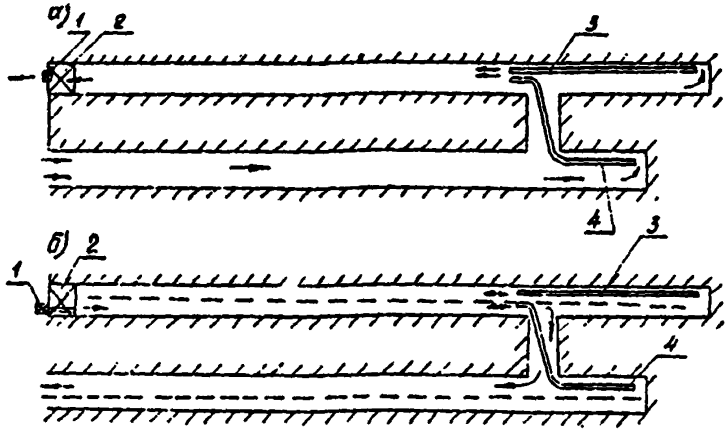


Рис.7. Комбинированная система вентиляции:
а – после взрыва в забоях; б – в период возки породы автомашинами; I – вентилятор; 2 – шлюз; 3 и 4 – воздуховоды; направление движения воздуха; – – – путь автомашин

I. Режим проветривания одного из забоев после взрыва с отводом отсасываемых газов в одну из выработок (лучше меньшего сечения), из которой на время прохождения газового облака люди переходят в соседнюю выработку; необходимость простоя компенсируется экономией времени проветривания обоих забоев за счет возможности создания в них более интенсивной вентиляции при тех же или меньших энергетических затратах (аэродинамическое сопротивление выработок значительно меньше, чем воздуховодов); время прохождения газового облака τ_0, б, по выработке длиной $l_{выр}$ и средней по длине площадью поперечного сечения $F_{ср}$ определяется выражением

$$\tau_0 = \frac{F_{ср}(l_{выр} - б_0)}{L},$$

где L – расход воздуха, м³/с.

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

3.14. Вентиляция выработки при ведении в ней сварочных работ практически возможна только по общеобменной схеме без использования местных откосов. Желательны приточные системы: продольные, распределенные или каскадные.

Их производительность следует определять из расчета разбавления выделяющихся вредных веществ.

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

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

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

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

где β – коэффициент, имеющий значения для выработок с тюбинговой обделкой и без обделки $0{,}4\cdot10^{-3}м^{-1}$ и для выработок с гладкой обделкой $0{,}07\cdot10^{-3}м^{-1}$.

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

$$L_в > \frac{n_л}{10}, м^3/с,$$

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

$$L_{min} > 0{,}1\cdot F_{св}, м^3/с.$$

4. ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ И ОБОРУДОВАНИЕ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ

Металлические воздуховоды

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

4.2. Соединения звеньев 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 про-

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

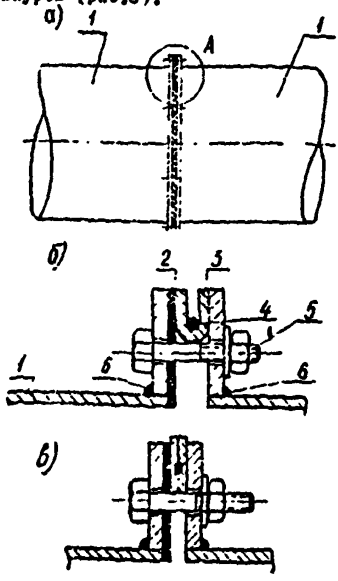


Рис.8. Уплотнение фланцевого соединения резиновой прокладкой:
а - общий вид; б - узел А (сечение) в ослабленном состоянии; в - то же в затянутом; 1 - трубы воздуховода; 2 - существующая прокладка; 3 - дополнительная прокладка из резиновой полосы; 4 - веревка; 5 - болт; 6 - фланец

Для этой же цели промышленность (завод резино-технических изделий, г.Волжский) выпускает прокладочную 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 (картон, пеньке, асбест) не рекомендуются, так как при температурных деформациях трубопроводов герметичность стыков нарушается.

Проведенные стендовые эксперименты позволяют рекомендовать также в качестве опытных фланцевые соединения с прокладкой гермита (жгут диаметром 30 мм), изготавливаемого на заводах "Стройдеталь" Мосотделпрома Главмосстроя (г.Москва) и Песковском комбинате строительных материалов Мособлстройматериалов по ТУ-МТИ-2--РСФСР-12-68 и ГОСТ 5.1011 -71.

4.4. Вандажное соединение состоит из липкой поливинилхлоридной ленты МРТУ-6-05-1040-67 и ТУ-21-2946-76, предназначаемой для

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

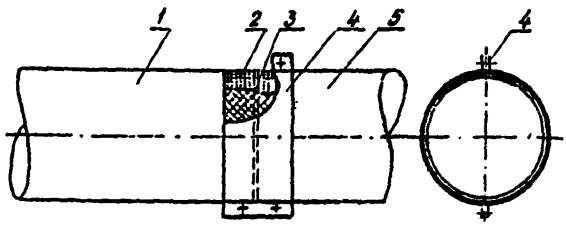


Рис.9. Бандажное соединение воздуховодов: 1,5 - стыкуемые воздуховоды; 2 - липкая лента; 3 - тканевая прокладка; 4 - стальной бандаж

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

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

В качестве заменителя липкой ленты можно использовать пропитанную ткань, нанося на нее перед обертыванием трубы мастику *бутепрол*, разогретую до 50^0С (на менее 2 кг мастики на 1 $м^2$ ткани) Количество витков, ширина ленты и бандажа остаются теми же, что и *для стыка с липкой лентой. Бутепрол изготовляется 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 воздуховодов дан график (приложение 8).

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

Таблица 6

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

Тканевые воздуховоды

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

Номенклатура и характеристики тканевых воздуховодов даны в приложении IO.

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, Па(кгс/м^2), складывается из сопротивления трения h_1 и суммы местных сопротивлений, создаваемых в стыках, h_2 :

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

$$h_1 = 10{,}5\alpha l \frac{u_0^2}{d^{1{,}3}}; \qquad (22)$$

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

где α – 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;

ξ – коэффициент сопротивления стыка (см.табл.7).

Таблица 7

Степень натяжения воздуховода	При значении критерия Рейнольда					
	10^5	$2\cdot10^5$	$4\cdot10^5$	$6\cdot10^5$	$8\cdot10^5$	10^6
	Величина $\alpha\cdot10^4$, $м^2\cdot с^2\cdot Па$ ($кгс\cdot с^2$)					
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 ξ, $м^2\cdot Па/с^2$ ($кгс/с^2$)					
Независимо от натяжения	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 тканевый воздуховод, их напор должен браться больше аэродинамического сопротивления воздуховода на величину давления Δh, 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.

Надо 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 тоннелестроения сечений, подсчитывается по формуле

$$h=\Sigma(h_l+h_\xi),$$

где h_l – сопротивление трения, Па ($кгс/м^2$), по длине выработок;

$$h_l=\alpha_l\frac{\rho l_{\text{эт}}}{F_{\text{бар}}}u_{\text{эт}}^2; \qquad (24)$$

h_ξ – местное сопротивление, Па ($кгс/м^2$), $h_\xi=\zeta\frac{u_{\text{эт}}^2\rho}{2}$;

α_l – коэффициент сопротивления выработки; для выработок без креплений или с тюбинговой обделкой

$\alpha_l=150\cdot10^{-4}\ \frac{Па\cdot с^2}{м^2}$ ($15\cdot10^{-4}\frac{кгс\cdot с^2}{м^4}$); для выработок с гладкой бетон-

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

ζ – коэффициент местного сопротивления, в области тоннелестроения местные сопротивления выработок имеют гораздо большее значение, чем сопротивление трения; рекомендуемые величины ζ даны в приложении II;

P – периметр выработки, м;

$\ell_{уч}$ – длина участка, м;

$u_{уч}$ – скорость воздуха на данном участке выработки, м/с;

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

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 шлюзов в соответствии с проектными решениями.

4.13. Расчет величины утечек через глухую перемычку $L_{пер}$, м^3/с, можно делать по формуле

$$L_{пер} = K_{пер} P_{пер} \sqrt{\frac{h_{ст}}{\delta}}, \qquad (25)$$

где $K_{пер}$ – коэффициент воздухопроницаемости перемычки, $\frac{м^{5/2}}{с \cdot Па^{1/2}}$ ($\frac{м^{7/2}}{с \cdot кгс^{1/2}}$), приведен в табл.8;

$P_{пер}$ – периметр примыкания перемычки к стенкам обойки, м;

$h_{ст}$ – статистический напор, Па (кгс/м^2);

δ – толщина стенки, м.

Таблица 8

№ п/п	Типы перемычек	Коэффициенты воздухопроницаемости $K_{ут} \cdot 10^5$ глухой перемычки	
		Нетрещиноватые породы	Трещиноватые породы
I	Шлако- и бутобетонные	280(90)	5I0(I65)
2	Каменные	500(I60)	870(280)
3	Шлакоблочные	370(I20)	680(2I5)
4	Чураковые	8I0(260)	I340(430)
5	Насыпные	870(280)	I440(460)
6	Досатые	IIIO(360)	I960(630)

4.I4. Утечки воздуха через двери $L_{дв}$, м^3/с, можно подсчитать по формуле

$$L_{дв} = 0{,}006\varphi F_{дв}\sqrt{h_{ст}}\left(L_{дв} - 0{,}02\varphi F_{дв}\sqrt{h_{ст}}\right). \qquad (26)$$

где $\varphi = I$ – для одной двери; $\varphi = 0{,}76$ – для двух и $\varphi = 0{,}66$ – для трех дверей;

$F_{дв}$ – площадь двери, м^2.

4.I5. Сопоставление трех видов возду ных каналов позволяет дать следующие рекомендации:

при наличии технологических возможностей, безусловно, целесообразно использование тоннельных выработок в качестве воздуховодов;

металлические воздуховоды являются самыми дорогими; их применение надо планировать в магистралях большой длины (свыше I км), при последовательной установке вентиляторов (когда в воздуховодах создаются участки разрежения) и при необходи ти реверсирования системы;

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

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

4.I6. Плотности воздуховодов 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 воздуховодных магистралей установку через каждые 100-150 м штуцеров для подсоединений 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 - устранять причину; дополнительные затраты ничтожны, экономия же может быть достигнута в десятках тысяч рублей, не говоря об остальных аспектах вопроса.

4.17. Как правило, соединения воздуховодов в процессе эксплуатации теряют свою герметичность и требуют их 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-побудителя при проветривании глухих забоев использовать вентиляторы МЦ вместо обычно применяемых "Проходки" или СВМ. Вентилятор МЦ весит в 3 раза меньше, чем на один номер меньшие 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 призабойной 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 уд линяются и воздушные тракты, вследствие чего их сопротивление растет, растет и требуемая производительность вентиляции (увеличиваются утечки, возрастают выделения вредных веществ). Производительность же вентиляторов в соответствии с их характеристиками падает. Это противоречие обычно разрешается тем, что воздуховоды и вентиляторы подбирают на максимальную нагрузку, вследствие чего большую часть времени вентиляторы работают с низким КПД, выходящим за пределы нормативного установленного для промышленности ($h_{min} = 0,5$).

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

4.20. Учитывая сказанное, можно отметить следующее:

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

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

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

4.21. Для проветривания забоев после взрывов при невозможности размещения воздуховодов в проемах буровой рамы можно в качест-

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 установка одного или группы вентиляторов в перемычке, находящейся в каком-либо месте воздушного тракта.

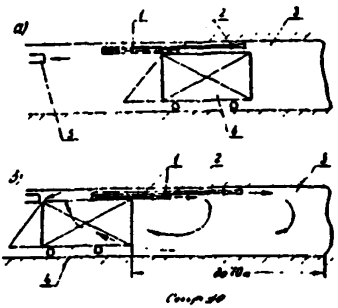


Рис.10. Проветривание забоя с помощью эжекторов:
а - буровая рама у забоя; б - буровая рама отведена от забоя, идет проветривание; 1 - линия сжатого воздуха; 2 - эжекторы; 3 - забой; 4 - буровая рама; 5 - всасывающий воздуховод

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 припортальной площадки, что исключит опасность его попадания в тоннель.

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

Вариант "в" не исключает загрязнения выбросами припортальной 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 определиться в результате учета частоты и характера движения через это место, необходимости подогрева воздуха и т.п.

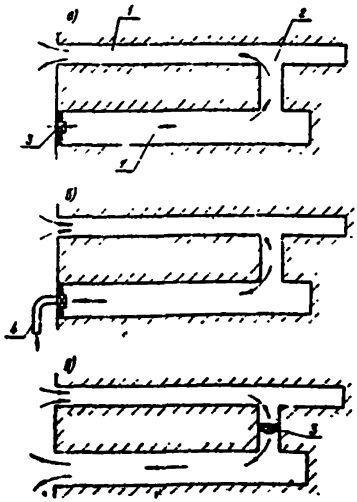


Рис.II. Схемы сквозной вентиляции, варианты а,б, в, установки вентиляторов:
1 - выработка; 2 - сбойки; 3 - вентиляторы; 4 - отводящий воздуховод; ——► - движение воздуха

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

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

4.23. 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 воздухораспределителе). Зато такая система совершенно не стесняет процессы транспортировки и перемещения людей по выработке.

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

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

Суть струйной вентиляции заключается в том, что по длине тоннеля (обычно под его сводом) через определенные промежутки устанавливаются свободно 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 припортальных участков

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

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

Поэтому портальные проемы рекомендуется оборудовать воротами с постоянно действующими боковыми воздушными завесами. Отверстие портала, кроме части, занятой воротами, следует наглухо 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 воздуховод с устройством снаружи утепленной шахты (рис.12,а). В случае вытяжной вентиляции (постоянной или при реверсировании) приточный воздух в количестве, необходимом для компенсации вытяжки, также должен подаваться через короткий воздуховод с помощью вентилятора. Выпуск воздуха в выработку осуществляется у ворот портала (рис.12,а,б).

4.27. При организованных притоке и вытяжке (в том числе и указанном в п.4.26 способе) движение воздуха в плоскости ворот будет происходить под действием гравитационного напора. Количество воздуха, проникающегося через портал, оборудованный распашными воротами, $L_{ворот}$, м³/с, определяется по формуле

$$L_{ворот} = \frac{0{,}8B}{\rho_н}\sqrt{H^3(\rho_н - \rho_в)} \qquad (27)$$

без ворот

$$L'_{ворот} = \frac{0{,}9B}{\rho_н}\sqrt{H^3(\rho_н - \rho_в)} \qquad (28)$$

где B – ширина проема, м;

H – высота проема, м;

$\rho_н$ и $\rho_в$ – плотности наружного и внутреннего воздуха, кг/м³.

4.28. Воздух для завесы следует забирать снаружи. Температура смеси наружного воздуха и выходящего из цехов завесы должна быть не ниже +2°С. 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.

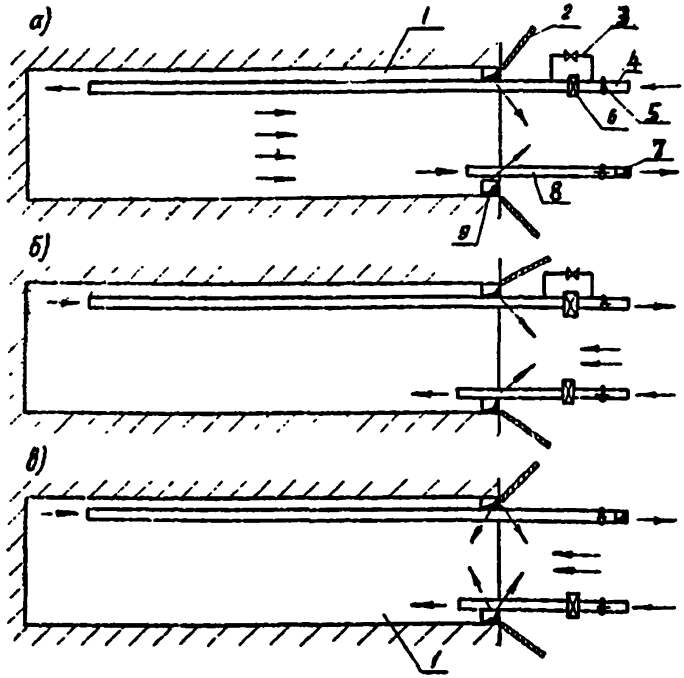


Рис.12. Системы вентиляции и защиты пришахтной зоны выработки:
а – приточная вентиляция; б – реверсирование после взрыва; в – постоянная вытяжная вентиляция; ——→ – направление движения воздуха; I – выработка; 2 – створки ворот; 3 – обводной воздуховод; 4 – вентиляционный воздуховод; 5 – вентилятор; 6 – калорифер; 7 – утепленная шахта; 8 – короткий воздуховод для компенсации притока или вытяжки; 9 – отбой воздушной завесы

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

Мощность калориферных установок определяется по формуле

$$Q_к = 0{,}35 L_{возд} (t_{нав} - t_н), \text{ Вт} \qquad (29)$$

$$(Q_к = 0{,}3 L_{возд} (t_{нав} - t_н), \text{ ккал/ч}),$$

где $L_{вып}$ – объем вентиляционного воздуха, подаваемого в выработку, $м^3/ч$;

$t_{нас}$ – температура, до которой воздух должен нагреваться в калориферах, ^0C;

$t_н$ – температура наружного воздуха наиболее холодной пятидневки, т.е. температуре для расчета отопления. ^0C.

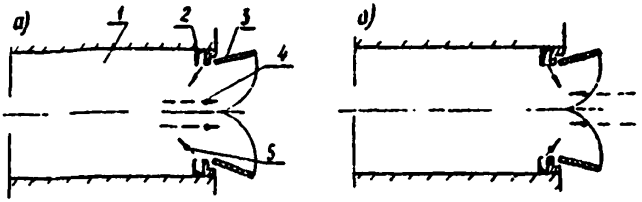


Рис.13. Направление выпуска воздуха из стояков завесы:
а – в верхней части ворот; б – в нижней части ворот;
I – выработка; 2 – стояк завесы; 3 – ворота; 4 – направление движения воздуха в проеме; 5 – то же, из стояков завесы

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

Если *первоначальная температуре породы* $t_п$ *на всем протяжении* выработки или на отдельных участках менее $t_в$, *то* $t_{нас}$ принимается:

а) при вытяжной и сквозной вентиляции $t_{нас} = +25^0C$;

б) при приточной вентиляции

$$t_{нас} = t_в + \frac{M(e^M + 1)}{e^M + 1 + 2M}(t_в - t_н),\ ^0C, \qquad (30)$$

где $M = 8{,}5\ell_{уч}\frac{\Pi}{L_{вып}}$

Здесь $\ell_{уч}$ – длина участка, на котором $t_п < t_в$ м;

Π – периметр воздуховода, м.

$$M = 3{,}34\ell_{уч}\frac{K_т\Pi_{вып}}{L}\ (M = 2{,}88\ell_{уч}\frac{K_т H_{вып}}{L}),$$

где $\Pi_{вып}$ – периметр выработки, м;

$K_т$ – средний по длине выработки коэффициент нестационарного теплообмена между воздухом и породой для трехпортальных тоннелей, находящихся в стадии проходки,

$Вт/(м^2 \cdot {}^0C)$ $(ккал/(м \cdot ч \cdot {}^0C))$

$$K_т = 1{,}3\frac{\lambda_п\left(1 + 0{,}27\sqrt{\frac{a_п\tau_р}{R_вн^2}}\right)}{0{,}88\sqrt{a_п\tau_р} + \frac{\lambda_п}{\alpha_п}}. \qquad (31)$$

где $\lambda_п$ – коэффициент теплопроводности породы, Вт/(м^2·°С) (ккал м^{2}ч°С);

$a_п$ – коэффициент температуропроводности породы, м^2/ч;

$R_э$ – эквивалентный радиус выработки $R_э = \frac{2F_{выр}}{P_{выр}}$, м;

$\tau_р$ – время, прошедшее от начала проходки участка с $t_п < t_р$ до расчетного момента, ч;

$\alpha_п$ – коэффициент теплоперехода между воздухом и стенками выработки, Вт/(м^2·°С) (ккал/м^{2}ч°С); для выработок в период строительства в зимнее время

$\alpha_п = 4{,}5 \frac{L^{0{,}8} n^{0{,}8}}{F_{выр}}$ Вт/(м^2·°С) ($\alpha_п = 3{,}9 \frac{L^{0{,}8} n^{0{,}8}}{F_{выр}}$ ккал/(м^{2}ч·°С)).

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

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

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

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

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

а) устраивать обводной воздуховод в пределах приточного узла для рециркуляции нагретого воздуха в количестве, которое должно обеспечивать нагрев наружного воздуха, поступающего в калорифер, до температуры не ниже –30°С.

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

б) теплоноситель подключать так, чтобы сначала в он проходил те секции калориферов, которые являются первыми по ходу воздуха;

в) при выборе теплоносителя предпочтение следует отдавать нерастворенной воде;

г) устраивать автоматические системы, запирающие утепленный клапан воздухозаборного канала приточного центра при понижении температуры теплоносителя ниже опасного 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 пылеподавления;

г) средства пылеулавливания.

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

Гораздо больше применение находят способы локализации мест повышенной запыленности, осуществляемой путем создания движения воздуха в направлении от рабочих мест посредством отсоса. Таков принцип действия вентиляции запыленной зоны у лба забоя при работе комбайна.

Установлено, что основным фактором для такой локализации является скорость движения воздуха, которая должна быть не м нее 0,3 и не более 0,6 м/с. При меньшей скорости пыль распространяется навстречу движения воздуха, при большей - взмучивается из отложений, вследствие чего увеличивается концентрация пыли.

Метод вентиляции, основанный не на разбавлении вредных веществ, а на их локализации и уносе от рабочих мест, как метод некоторыми авторами "динамический"

4.33. Для некоторых процессов, зоны запыленности не могут быть локализованы (например, сварочные работы в тоннеле, транспортировка породы, цементе 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 размещении источников пыли с учетом возможной разницы значений их ПДК.

Так, при выделении пыли в количестве G_I (например, в забое), имеющей $ПДК_I$ в воздух, поступающий затем к месту сварки (интенсив-

ность выделения аэрозолей G_2 при $ПДК_2$), расчетное значение предельно допустимой концентрации будет равно

$$ПДК = \frac{G_1 ПДК_1 + G_2 ПДК_2}{G_1 + G_2}, \qquad (32)$$

а требуемый расход воздуха определится по формуле

$$L = \frac{G_1 + G_2}{ПДК_1 - C_\Phi \frac{ПДК_2}{ПДК_\Phi}}, \qquad (33)$$

где C_Φ – фоновая концентрация пыли, предельно допустимая концентрация которой $ПДК_\Phi$.

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

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

Данные об эффекте гашения пыли, образующейся при бурении, от промывки водой приведены в приложении I5. Эффект увеличивается еще в I,5–2 раза при промывке водой с добавками в нее смачивателя, простейшим из которых является поваренная соль.

Практически мокрое бурение при достаточном расходе воды обеспечивает отсутствие 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 телескопных 5 л/мин и для бурильных установок I2 л/мин. Не меньшую роль играет смачивание при взрывании зарядов.

Гидрозабойка обычно делается из расчета закладки в шпуры пакетов с водой в количестве, равном массе ВВ.

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

Эффективность орошения забоя чрезвычайно велика (не только по гашению пыли, но и по поглощению газов водой), однако оптимальное количество форсунок приходится находить опытным путем на объекте [9,I0] .

Чрезвычайное значение для эффекта имеет степень дробления воды в форсунках. Важно, чтобы образовывался туман с крупностью капель I0–I5 мкм, что достигается в пневмофорсунках 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 сопоставимо с орошением пневмофорсунками. 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 снаруки) обычные патроны-осевники или специальные патроны ВОСТЕЙ, которые взрываются на 25 мс раньше, чем заряды в шпурах.

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

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

4.37. В некоторых случаях 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 ограничениями применения 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, в

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

5.2. Основными критериями выбора схем проветривания выработок является эффективность, 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) применять минимальное количество необходимых переключений систем с одного режима на другой (например, реверсирование) в процессе производственного цикла;

в) обеспечить наилучшими гигиеническими условиями рабочие места, располагающиеся в глубине выработки (что не означает допустимости нарушения санитарно-гигиенических норм в других местах);

г) исключить по возможности помехи для технологических процессов;

д) обеспечить соответствующие вентиляционные режимы при возникновении аварийных ситуаций или быстрого перехода на эти режимы.

Систем вентиляции, отвечающих всем перечисленным принципам и требованиям, нет, однако сопоставление различных показателей позволяет дать следующие общие рекомендации.

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

При проходке буровзрывным способом и отсутствии выделений вредных веществ по длине выработки наиболее целесообразной является нагнетательная 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, требующегося 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 (вместо требуемых 60 %),

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

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

При неблагоприятных климатических условиях возникают некоторые осложнения.

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

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

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

Требованиям предотвращения охлаждения выработок лучше отвечает приточная вентиляция: при ее работе через большую часть сечения портала воздух выходит из 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 (комбайнами механизированными щитами) связана, как правило, с запыленностью воздуха, для удаления которого предпочтительна вытяжная вентиляция.

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

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

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

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

валось, 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 порталу.

5.4. Для сквозных выработок дополнительно к разобранным вариантам (сквозная выработка всегда может быть разгорожена на две тупиковых) возникает возможность обойтись без воздуховодов, создавая поток воздуха по одному из способов, отмеченных в пп.4.22-4.24. Реверсирование системы может осуществляться дублированием вентиляторов, подбором оборудования с повышающим коэффициентом I,8 (п.5.3,б) 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 сбоек) и сквозной вентиляции двух штолен, осуществляемой через сбойку. Может быть несколько вариантов ведения работ в выработках (соответствующие схемы вентиляции даны на рис.I4):

а) работы (в том числе транспортировка) ведутся в одной из выработок по всей ее длине;во второй - только на участке от "вентиляционной" сбойки до забоя (такое сочетание соответствует, например, строительству тоннеля с подходной штольней, имеющей временное крепление). Если по длине основной выработки нет выделений вредных веществ, то наиболее очевидной является схема проветривания, при которой по указанной выработке воздух направляется от портала к сбойке, а по штольне - в обратном направлении. Забои 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 возки не совпадают с моментами очищения забоев после взрывов, поэтому во время загазирования штольни продуктами взрыва люди в ней отсутствуют);

б) работы без выделений вредных веществ ведутся по длине каждой из выработок и, следовательно, загрязненный воздух из забоев нельзя направлять ни по одной из них. Нужно устройство вытяжной вентиляции из забоев с выбросом воздуха наружу, то есть с прокладкой воздуховода (или воздуховодов) на 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 автомашины движутся по тоннелю, где поток воздуха направлен к порталу;

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

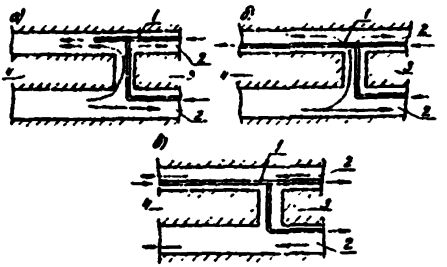


Рис.14. Схемы вентиляции параллельных выработок с использованием сбойки:
а - работы (в том числе транспортировка) ведутся в одной из выработок; б - работы без выделения вредностей ведутся в каждой выработке; в - автотранспорт движется по обеим выработкам; 1 - воздуховод; 2 - выработки; 3 - забой; 4 -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

Во всех 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 тепла 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 тексте 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 I8.

Таблица 9

Способ разработки породы	Тип транспорта	Рекомендуемые схемы вентиляции одиночных тупиковых выработок с забоями	
		одним	двумя
	Нормальные климатические условия		
Буровзрывной	Электрический	/Вт+Р/ ⟵ Пр	/Вт+$И_3$/ ⟵ /Пр+$И_4$/
	Автомобильный	Пр ⟶ Вт	/Пр+$И_4$/ ⟶ /Вт+$И_3$/
Резка, рыхление	Электрический	Вт ⟵ Пр	/Вт+$И_3$/ ⟵ /Пр+$И_4$/
	Автомобильный	Пр ⟶ Вт	/Пр+$И_1$/ ⟶ Вт
	Высокая температура пород		
Буровзрывной	Электрический	/Вт+$И_2$+Р/⟵Пр; Пр⟶Вт	/Вт+$И_2$+$И_3$/⟵Пр
	Автомобильный	Пр ⟶ Вт	/Пр+$И_4$/ ⟶ /Вт+$И_3$/
Резка, рыхление	Электрический	/Вт+$И_2$/⟵Пр;	/Пр+$И_3$+$И_4$/⟶/Вт+$И_3$/
	Автомобильный	/Пр+$И_2$/⟶Вт	
	Низкая температура наружного воздуха		
Буровзрывной	Электрический	/Вт+$Н_2$+Р/⟵Пр	/Вт+$Н_2$+$И_3$/⟵Пр
	Автомобильный	/Пр+$Н_1$/ ⟶ Вт	/Пр+$Н_1$+$И_4$/⟶/Вт+$Н_2$+$Н_3$/

Продолжение табл.9

Способ разработки породы	Тип транспорта	Рекомендуемые схемы вентиляции одиночных тупиковых выработок с забоями	
		одним	двумя
Резка, рыхление	Электрический Автомобильный	/Вт+$Н_2$/ ⟵ Пр /Пр+$Н_I$+$М_I$/—Вт	/Вт+$Н_2$+$М_3$/ ⟵ Пр /Пр+$Н_I$+$М_I$+$М_4$/— —/Вт+$М_2$+$М_3$/

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.I5,б; Н - защита от охлаждения по схеме на рис.I5,в; (+) - объединение одной части схемы с другой; Р - рециркуляция по схемам $М_1$ - $М_2$ или $М_3$ на рис.I5.

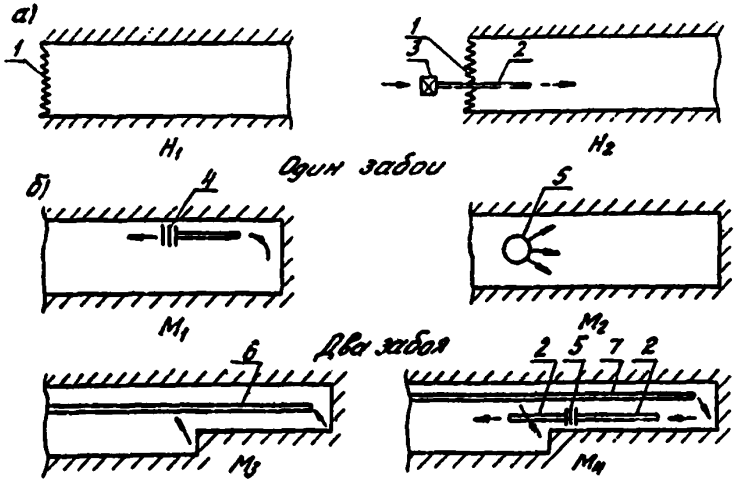


Рис.I5. Схема теплозащиты и размещения местных отопительно-вентиляционных установок:
а - защита порталов от охлаждения наружным воздухом; б - местные вентиляционные системы в забоях; I - воздушно-тепловая завеса или шлюз; 2 - воздуховод; 3 - приточная установка с нагревом воздуха; 4 - воздушный фильтр; 5 -рефрижератор;6 - воздуховод с двумя заборами воздуха; 7 - воздуховод с двумя выпусками воздуха

6. ГЛУШЕНИЕ ШУМА ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ УСТАНОВОК

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

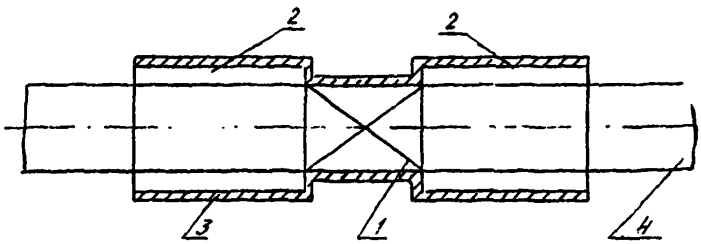


Рис.I6. Комплексная система глушения шума вентиляционных установок:
I - вентилятор; 2 - глушители; 3 - звукоизолирующие рубашки; 4 - воздуховод

6.2. Рекомендуются резонансные глушители (рис.I7).

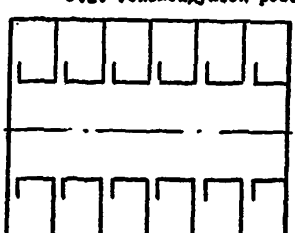


Рис.I7. Принципиальная геометрическая схема резонансного глушителя

6.3. Оптимальные геометрические размеры резонансных глушителей рассчитываются по программе на ЭВМ (Информационный бюллетень алгоритмов и программ ГосФАП СССР №5(49) I982 П 005 432).В табл.I0 даны геометрические размеры глушителей для типичных радиусов воздуховодов 250 300 и 400 мм.

6.4. Глушители изготавливаются из любых применимых материалов, сохраняющих геометрическую форму глушителей в процессе эксплуатации. Рекомендуется изготавливать глушители из стеклопластиков, например, из холста стекловолоконного I категории качества толщиной 0,5-0,8 мм ВВ-АМ ТУ-2I БССР 203-78 в 3-4 слоя и эпоксидной смолы ЭД-20 ГОСТ I0587-76 с отвердителем полиэтиленполиамидом и дибутилфталатом.

Таблица 10

Радиус воздуховода, мм	Радиус глушителя, мм	Эффективность глушителя, дБ	Интервал частот, Гц	Ширина горлышка резонатора, мм	Длина горлышка резонатора, мм	Длина резонатора, мм	Число резонаторов	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 воздуховода, мм	Радиус глушителя, мм	Эффективность глушителя, дБ	Интервал частот, Гц	Ширина горлышка резонатора, мм	Длина горлышка резонатора мм	Длина резонатора, мм	Число резонаторов	Длина глушителя, мм
		40	63-125			198	11	2178
			125-250			49	23	1127
400	800	25	63-125	20	162	148	10	1480
			125-250			37	20	740
		30	63-125			148	12	1776
			125-250			37	24	888
		35	63-125			148	14	2072
			125-250			37	27	999
		40	63-125			148	15	2220
			125-250			37	30	1110

6.5. Звукоизолирующие рубашки глушителей и вентилятора представляют собой слоистую конструкцию, в которой должны отсутствовать щели и отверстия.

6.6. Звукоизолирующие рубашки рекомендуется изготовлять из материала фольгоизол (ГОСТ 5.2053-73), который представляет собой слой битумного материала - изола, покрытый с одной стороны алюминиевой фольгой, а с другой - полиэтиленовой пленкой, изготовляемого заводом кровельных и полимерных материалов (г.Москва). Между рубашками и внешними стенками глушителей и вентилятора засыпать слой песка. Толщина слоя песка при звукоизолящии не менее 20 дБ по всем нормируемым интервалам частот должна быть не менее 20 мм (рис.18).

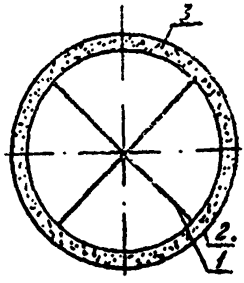


Рис.18. Возможная конструкция слоистой звукоизолирующей рубашки:
1 - глушитель или вентилятор; 2 - замкнутый цилиндр из фольгоизола; 3 - песок

Приложение I

ХАРАКТЕРИСТИКИ ОСНОВНЫХ ГАЗОВЫХ ПРИМЕСЕЙ В ВОЗДУХЕ РАБОЧЕЙ ЗОНЫ ТОННЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК

№ п/п	Вещество, химическая формула, основные процессы, при которых выделяются	Относительная плотность	Предельно допустимые концентрации (ПДК), мг/м³	Класс опасности	Агрегатное состояние	Физические свойства	Физиологическое действие
I	Углерода окись, CO	0,97		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/м³
	При длительности экспозиции[1], ч						
	8		20				
	I		50				
	0,5		100				
	0,25		200				
	Взрывные работы, работа двигателей внутреннего сгорания, сварка, пожары						

№ п/п	Вещество, химическая формула, основные процессы, при которых выделяется	Относительная плотность	Предельно допустимые концентрации (ПДК), мг/м³	Класс опасности	Агрегатное состояние	Физические свойства	Физиологическое действие
2	Азота окислы, NO, NO_2, N_2O, N_2O_3 (приведены к NO_2) Вне зависимости от экспозиции Взрывные работы, сварка, работа двигателей внутреннего сгорания	I,59	5	2	Газ	Имеют бурый цвет, острый запах. Смесь с воздухом может расслаиваться. Активно растворяется в воде	Раздражают слизистые оболочки дыхательных путей и глаз, отравляющее действие сказывается не сразу, а через длительное время после экспозиции (от 4 до 30ч). Смертельно опасная концентрация 500 мг/м³
3	Акролеин CH_2CHCOH Работа двигателей внутреннего сгорания (один из альдегидов)	I,90	0,2	2	Пары	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 выделяются	Относительная плотность	Предельно допустимая концентрация (ПДК), мг/м³	Класс опасности	Агрегатное состояние	Физические свойства	Физиологическое действие
4	Альдегиды (сложные органические соединения)	От 1,50 до 5,70	5,0	2 и 3	Пары	Специфический запах. Легко растворим в воде	Раздражают слизистые оболочки, вызывают некроз кожи, нарушают пищеварение
	Формальдегид HCOH Образуется при работе двигателя внутреннего сгорания	1,04	0,5	2			
5	Углерода двуокись CO_2 — Дыхание людей, взрывные работы, работа двигателей внутреннего сгорания, сварка	1,52	1000	-	Газ	Бесцветен. Слабый кисловатый запах. Водорастворим. Может отслаиваться	Вызывает кислородную недостаточность. Смертельно опасная концентрация 20 000 мг/м³
6	Сернистый ангидрид	2,22	10	3	Газ	Бесцветен. Запах специфический. Водорастворим. Может отслаиваться	Раздражение дыхательных путей и глаз. Смертельно опасная концентрация 1430 мг/м³

№ п/п	Вещество, химическая формула, основные процессы, при которых выделяется	Относительная плотность	Предельно допустимые концентрации (ПДК), 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 % по объему)
8	Озон Образуется при электросварке	I,66	0,I	I	Газ	Бесцветен. Имеет специфический запах. Хорошо водорастворим	Раздражает слизистые оболочки

1. Увеличение ПДК может учитываться только в тех случае, если между периодами экспозиций имеются перерывы не менее 2 ч.
2. В некоторых источниках даны значения ПДК для N_2O_5; для пересчета этих ПДК на NO_2, величины первых надо умножить на 1,85.
3. ПДК, приведенные в ПТБ [1], устарели и с выпуском ГОСТ 12.1.005-76 не должны приниматься во внимание.

Приложение 2

ХАРАКТЕРИСТИКИ ОСНОВНЫХ ПЫЛЕВИДНЫХ ПРИМЕСЕЙ (АЭРОЗОЛЕЙ) В ВОЗДУХЕ ТОННЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК

№ п/п	Пыль	Предельно допустимая концентрация (ПДК), мг/м³	Класс опасности	Физиологическое действие
I	Кремнесодержащая			
	с содержанием свободной двуокиси кремния (SiO_2) более 70 % (кварцит, динас и др.)	I	3	Уплотнение легочных тканей, частичное растворение и поступление в кровь в виде ядовитой кремниевой кислоты (H_2SiO_3)
	с содержанием SiO_2 от 10 до 70 % (гранит, шамот, слюда и др.)	2	4	Действие кристаллической пыли усугубляется остроконечной формой пылинок, способствующей их внедрению в живые ткани
	от 2 до 10 % (слюдяная, углепородная пыль, глина и др.)	4	4	
2	Силикаты и силикатосодержащие			
	асбестопородные пыли с содержанием асбеста более 10 %	2	4	То же действие, но без образования H_2SiO_3; пыль легче отделяется от легочных тканей (по сравнению с кремнесодержащей)
	тальк, слюда-флогопит, мусковит и др.	4	4	
	цемент, оливин, апатит, форстерит, глина (при содержании SiO_2 < 2 %)	6	4	
3	Сварочные аэрозоли	4	4	Уплотнение легочных тканей, поступление в кровь ядовитых соединений марганца, фтора и других присадок

Приложение 3

МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ В РАБОЧЕЙ ЗОНЕ ТОННЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК

№ п/п	Параметр	Единицы измерения	Допустимые значения		Оптимальные значения
			минимум	максимум	
I	Температура воздуха	^{0}C	+2	+25	I6-I8
2	Скорость движения воздуха	м/с	0,I	-	-
	в горизонтальных и наклонных выработках		-	6	0,3-0,5
	в стволах, по которым поднимаются и опускаются люди		-	8	-
3	Влажность воздуха	%	-	-	40-60

Приложение 4

ХАРАКТЕРИСТИКИ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ, ВЫДЕЛЯЕМЫХ ПРИ СВАРКЕ В ТОНКОСТЕННЫХ ВЫРАБОТКАХ

№ п/п	Виды сварочных работ	Марка электродов	Сила тока	Аэрозоли		NO_2		Коэффициент неравномерности $K_н$
				Интенсивность, мг/с	Количество на 1 кг электродов, г/кг	Интенсивность, мг/с	Количество на 1 кг, мг/кг	
I	Монтаж кронштейнов под оборудование	МР-3	I60	2,94	II,3	I,0	4500	0,33
2	Монтаж металлоконструкций	ОЗС-4	200	I0,50	I9,2	0,7	I370	0,5I
3	Устройство освещения (подвески и пр.)	МР-3	60	I,80	24,4	I,0	4500	0,I7

Приложение 5

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

Последовательность операций расчета следующая:

1. Подсчитывается безразмерная величина λ по формуле

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

где $l_{выр}$ – 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

$$\xi = \frac{f_{выр} v (C_{доп} - C_в)}{q_0 (C_0 - C_в)},$$

где $f_{выр}$ – площадь поперечного сечения выработки, м^2;

$C_{доп}, C_0$ и $C_в$ – 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^3;

q – расход отработавших газов одной машиной, м^3/с.

3. По графикам рис.1 и 2 на оси абсцисс находится подсчитанная величина λ, восстанавливается перпендикуляр к этой оси до пересечения с кривой, соответствующей величине ξ (при промежуточном значении ξ 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

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

6. Если принята система с распределенной раздачей воздуха, то расчет продолжают, определяя λ_1

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

где $l_1 = l_{выр} - \Delta l_1$, м;

Δl_1 – расстояние от забоя до ближайшего к нему выпуска воздуха (не считая выпуска у самого забоя), м;

v и Δt – те же, что и ранее.

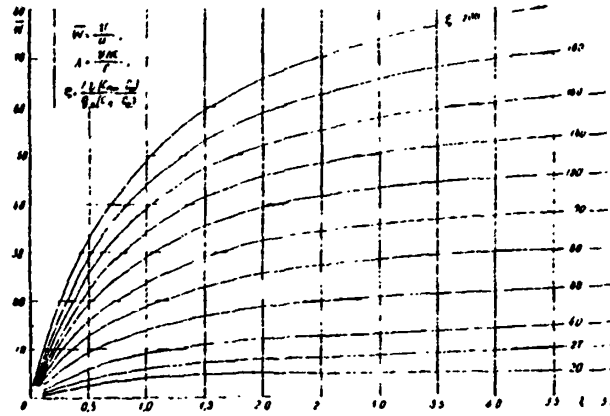


Рис.1. График расчета вентиляции участка выработки с забоем, в котором работает несколько автомашин

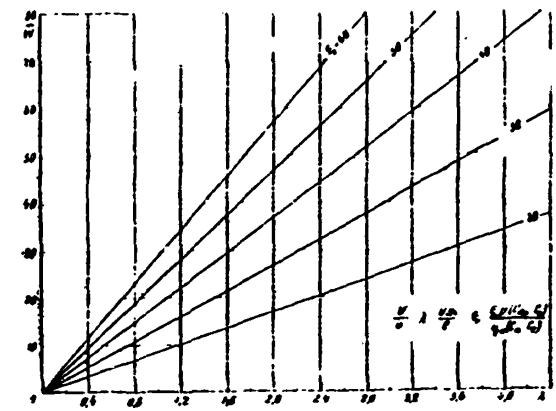


Рис.2. График расчета вентиляции промежуточного участка выработки при работе нескольких автомашин

С помощью графиков на рис.1 и 2 по λ_1 и ς находим ϖ_1, а затем вычисляем a и L_1.

Количество воздуха, выпускаемого в выработку у забоя, определяется

$$\Delta L = L - L_1, \ м^3/с.$$

7. Аналогично определяют количество воздуха, выпускаемого на расстоянии ℓ_1 от портала

$$\Delta L_1 = L_1 - L_2, \ м^3/с$$

и т.д.

Графики рис.I и 2 учитывают неравномерность движения машин по выработке, необходимость маневрирования у забоя, а также разницу в создаваемых концентрациях вредных веществ при следовании транспорта по направлению воздушного потока и против него.

Пример

А. Условия.

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

Объем взорванной породы в рыхлом теле II0 $м^3$, плотность породы 2,4 $т/м^3$.

Время на уборку породы после одного взрыва по графику производства работ – 3 ч.

Площадь поперечного сечения выработки в обделке 47 $м^2$.

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

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

Концентрация определяющих вредных веществ в наружном воздухе c_0

Б. Задача.

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

В. Расчет.

Определяем временной интервал между машинами

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

I. Подсчитываем λ для участка $\ell = 2000$ м

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

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

$$\xi = \frac{F_{выр}\, v(c_{дп} - c_{ф})}{q_a (c_{д} - c_{ф})} = \frac{47 \cdot 2{,}8 \cdot 20}{60 \cdot 0{,}0009 \cdot 1800} = 27$$

(значения q_a и c_a взяты по п.2.5).

3. По графику рис.I $\bar{w} = 3$.

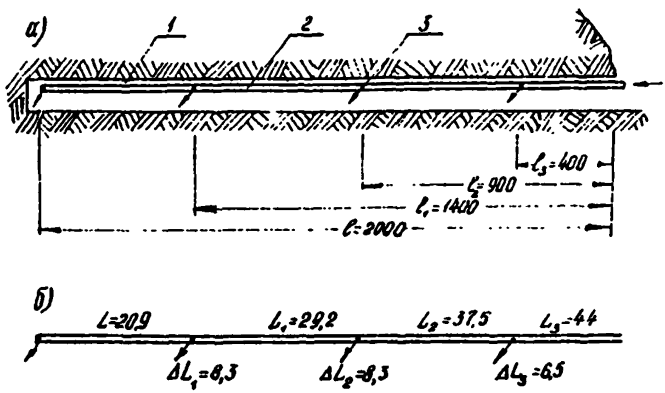


Рис.3. Схема распределенной раздачи воздуха:
а – расчетные участки; б – распределение воздуха;
I – выработка; 2 – воздуховод; 3 – выпуски воздуха.
Длины l показаны в м; расходы L и ΔL в м^3/с

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

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

6. Определяем λ_1 для участка длиной $l_1 = 1400$ м

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

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

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

7. Определяем аналогичным способом параметры для участков $\ell_2 = 900$ м и $\ell_3 = 400$ м и получаем:

$u_2 = 0{,}32$ м/с; $L_2 = 14{,}8$ м^3/с;
$u_3 = 0{,}14$ м/с; $L_3 = 6{,}5$ м^3/с.

8. Вычисляем значения расходов воздуха по местам распределения:

в конце воздуховода (у забоя)

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

на расстоянии 1400 м от портала

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

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

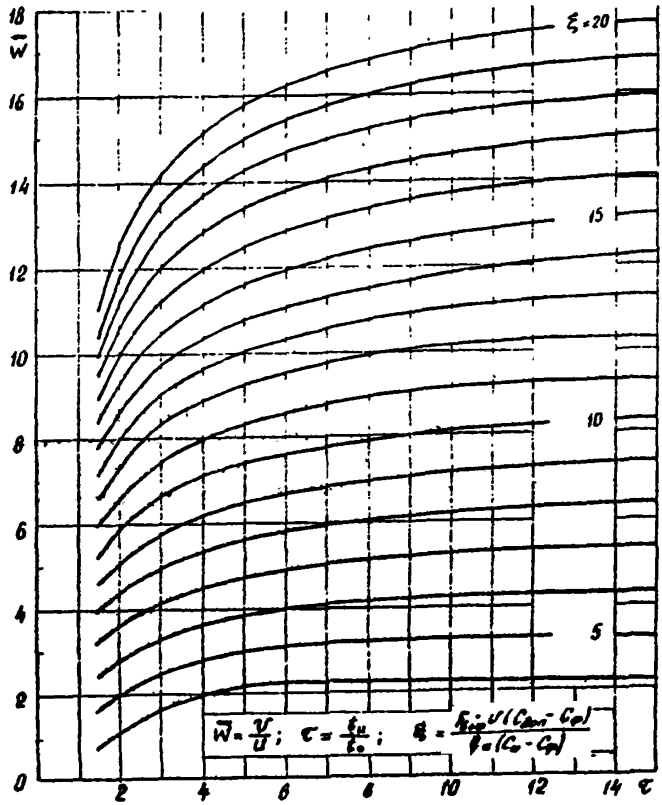
$$\Delta L_3 = 6{,}5 \text{ м}^3/\text{с}.$$

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 нужны меньше, но места выпусков воздуха должны устраиваться сразу на заранее рассчитанных расстояниях.

Приложение 6

ГРАФИК РАСЧЕТА ВЕНТИЛЯЦИИ ВЫРАБОТОК, В КОТОРЫХ РАБОТАЮТ ОДИНОЧНЫЕ АВТОМАШИНЫ (МОАЗ) ИЛИ ДИЗЕЛЬ-ПОЕЗДА



Условные обозначения:

v – скорость движения транспортного средства; u – скорость движения воздуха; t_u – время прохода транспортом расчетного участка в обе стороны; t_0 – продолжительность одного транспортного цикла; $F_{\text{сеч}}$ – площадь поперечного сечения выработки; q_a – 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.

ВЫБОР ДИАМЕТРА ВОЗДУХОВОДА

График служит для подбора экономически оптимального диаметра стального воздуховода в зависимости от его конечной длины и расхода воздуха. Число вентиляторов, устанавливаемых на воздуховоде группой или рассредоточенно, не влияет на выбор диаметра.

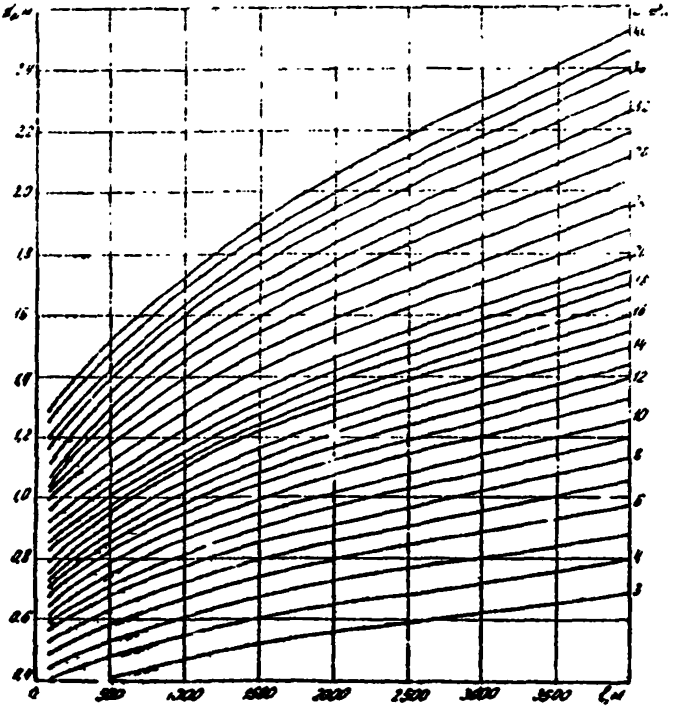


График подбора оптимального диаметра стального воздуховода

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

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

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

Затем определяем среднее арифметическое величину, которая и является искомой.

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

В выработке идет высокопроизводительная возка; при длине воздуховода 1800 м надо подавать в забой воздуха $L = 9$ м^3/с.

Делим длину воздуховода и расход воздуха на три части.

Для первого участка $\ell_1 = 600$ м; $L_1 = 3$ м^3/с;

для второго $\ell_2 = 1200$ м; $L_2 = 6$ м^3/с;

для третьего $\ell_3 = 1800$ м; $L_3 = 9$ м^3/с.

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

Среднее арифметическое

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

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

Приложение 9

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТ УСТАНОВКИ ВЕНТИЛЯТОРОВ НА ВОЗДУХОВОДАХ

Расстановка вентиляторов на воздуховоде производится по расчетному количеству воздуха на рабочем конце воздуховода и его характеристикам (аэродинамическому сопротивлению и коэффициенту воздухопроницаемости K_0).

Длины участков, определяющих местоположение вентиляторов, находятся по номограммам рис.I-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 числовые значения коэффициентов утечек воздуха φ

Каждая номограмма построена для определенных диаметров воздуховода d,м , длины звена трубопровода m,м и коэффициента воздухопроницаемости K_0 , значения которого приведены в табл.6 основного текста.

В тех же координатах нанесены характеристики некоторых вентиляторов, например, Проходко-600 и СВ2-6 (в приложении даны характеристики других вентиляторов).

Определение места установки вентиляторов на воздуховоде, например, находящемся под разрежением, сводится к следующему. На оси абсцисс (рис.I) берется данный по расчету расход воздуха на вытяжном конце воздуховода L_3 . Пересечение перпендикуляра, восстановленного из точки L_3 (например, $L_3 = 6{,}06$ м^3/с) с характеристикой вентилятора дает некоторую точку A , находящуюся между характеристиками воздуховодов определенной длины. Затем берут на ближайшей характеристике трубопровода соответствующее значение коэффициента утечек воздуха φ Это значение коэффициента умножают на заданное по расчету количество воздуха L_3 , получают значение расхода воздуха $L_4 = \varphi L_3 = 1{,}05 \cdot 6{,}06 = 6{,}37$ м^3/с, которое соответствует производительности вентилятора для данной длины воздуховода. Это новое значение L_4 (6,37 м^3/с) откладывают на оси абсцисс и восстанавливают к ней перпендикуляр до пересечения с характеристикой вентилятора в точке B . Затем смотрят, какая характеристика трубопровода ближе всего лежит к указанной точке пересечения с характеристикой вентилятора. В примере с $L_4 = 6{,}37$ м^3/с подходит трубопровод длиной 320 м с коэффициентом утечек $\varphi = 1{,}039$.

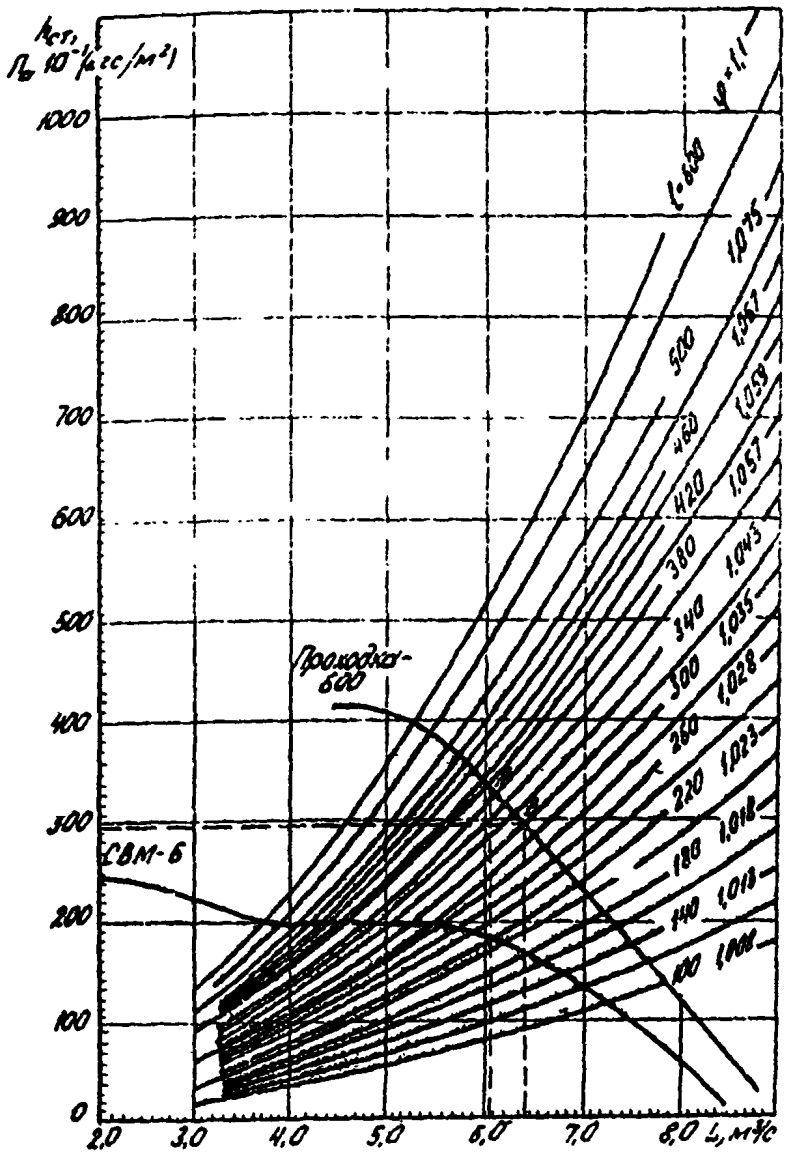


Рис. 1. Воздуховоды с d = 0,6 м; m = 9 м; $h_э$ = 0,001

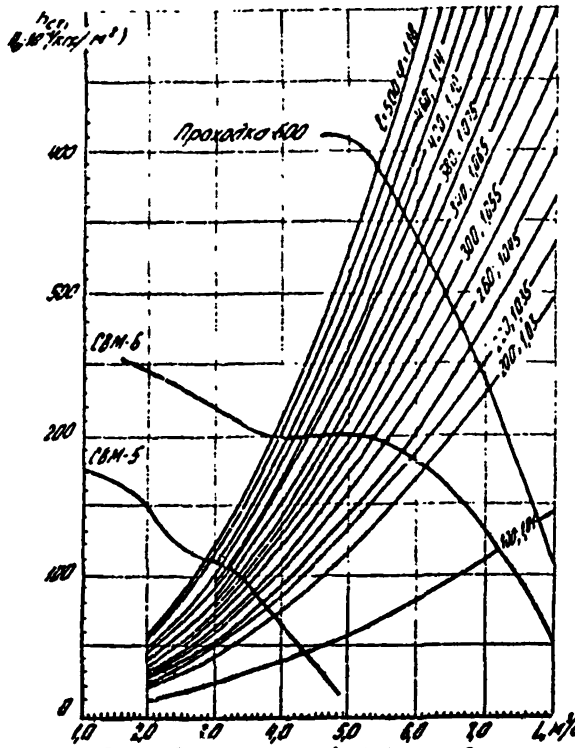


Рис.2. Воздуховоды с d = 0,6 м; m = 3 м; κ_0 = 0,00005

Если точка B далеко отстоит от характеристики сети, подбирают новую характеристику сети (другую длину трубопровода) с новым значением коэффициента φ. 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 размещать вентилятор от конца воздуховода или от предыдущего вентилятора.

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

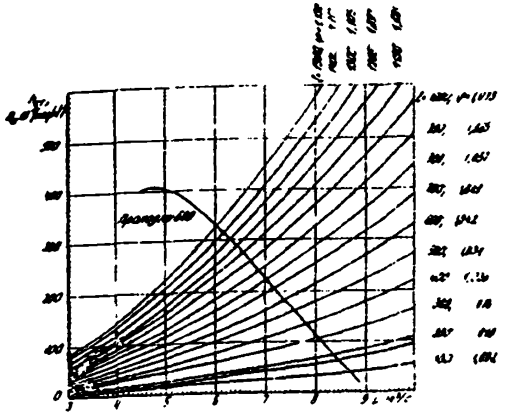


Рис.3. Воздуховоды с d = 0,8 м; m = 9 м; κ_0 = 0,00005

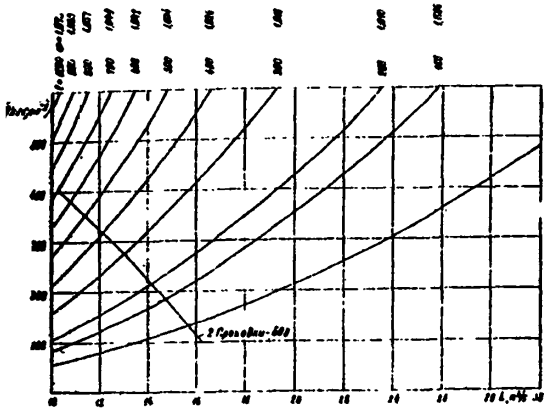


Рис.4. Воздуховоды с d = 0,8 м; m = 9 м; κ_0 = 0,00005
(продолжение номограммы рис.3)

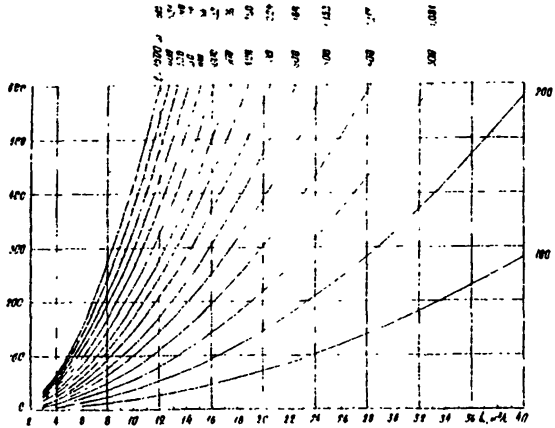


Рис.5. Воздуховоды с d= I,0 м; m= 3 м; R_0= 0,001

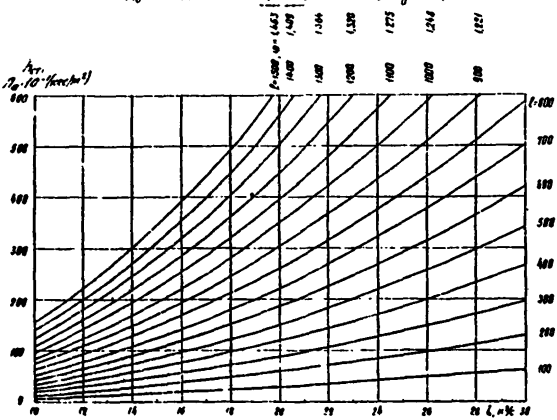


Рис.6. Воздуховоды с d= I,2 м; m= 3 м; R_0 = 0,001

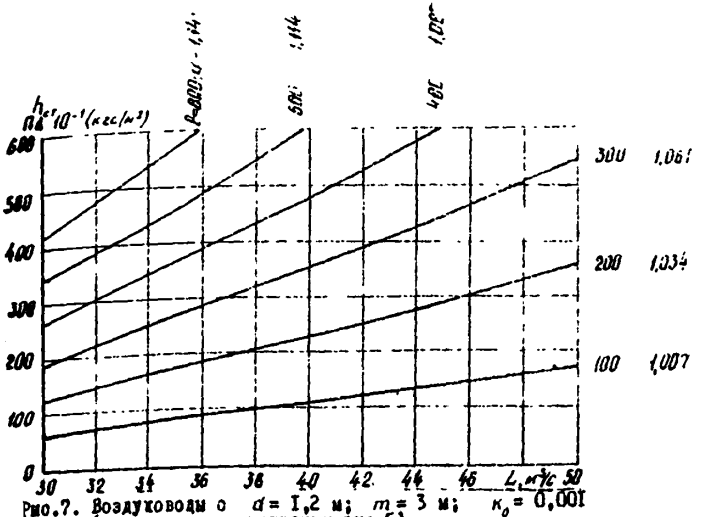


Рис.7. Воздуховоды с $d = 1{,}2$ м; $m = 3$ м; $\kappa_0 = 0{,}001$ (продолжение номограммы рис.6)

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

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

$$R = 6{,}5\alpha\frac{\ell}{d^5}, \qquad \frac{\text{Па}\cdot\text{с}^2}{\text{м}^6}\left(\frac{\text{кгс}\cdot\text{с}^2}{\text{м}^8}\right);$$

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

α -коэффициент сопротивления воздуховода;

для d от 0,5 до 0,7 м $\quad \alpha\cdot 10^4 = 32\frac{\text{Па}\cdot\text{с}^2}{\text{м}^2}\left(3{,}2\frac{\text{кгс}\cdot\text{с}^2}{\text{м}^4}\right)$;

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

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

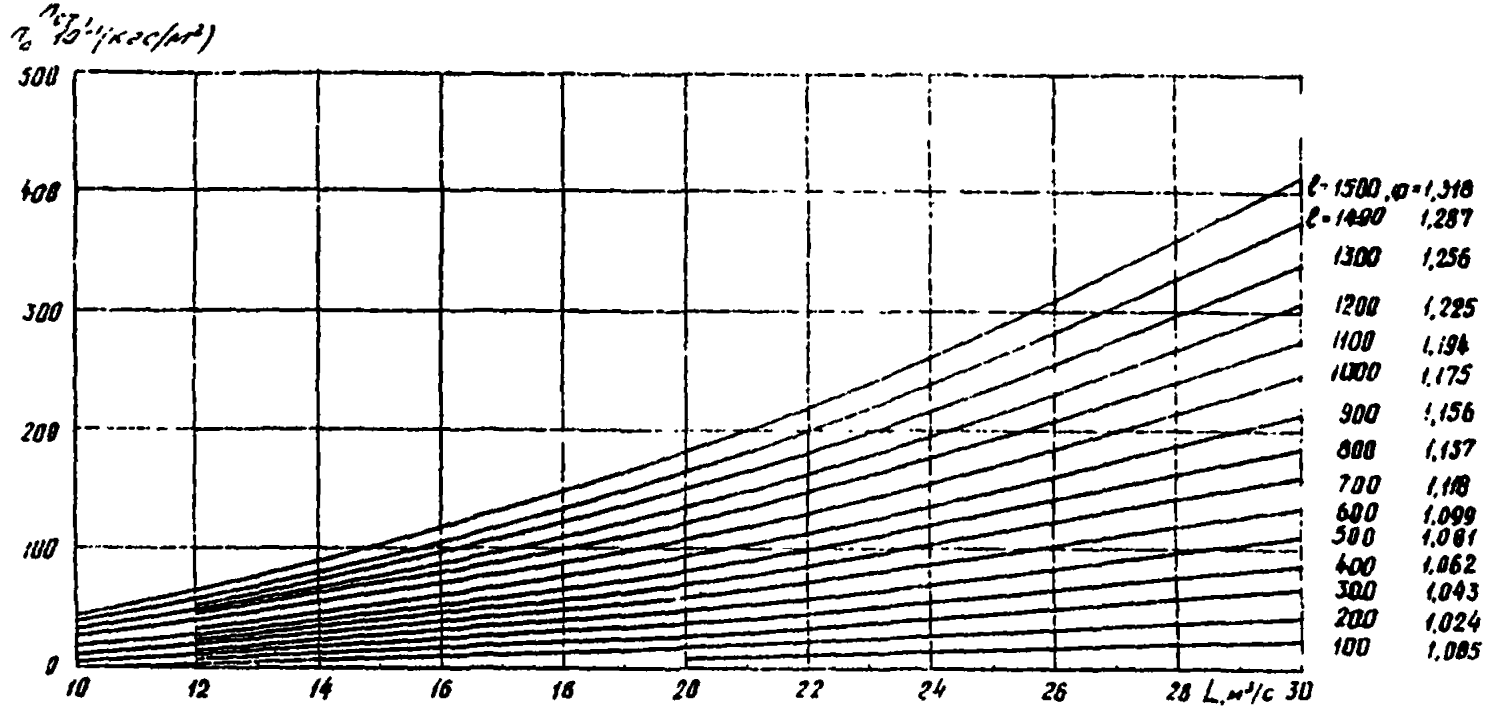


Рис.8. Воздуховоды с d = 1,5 м; m = 3 м; κ_n = 0,001

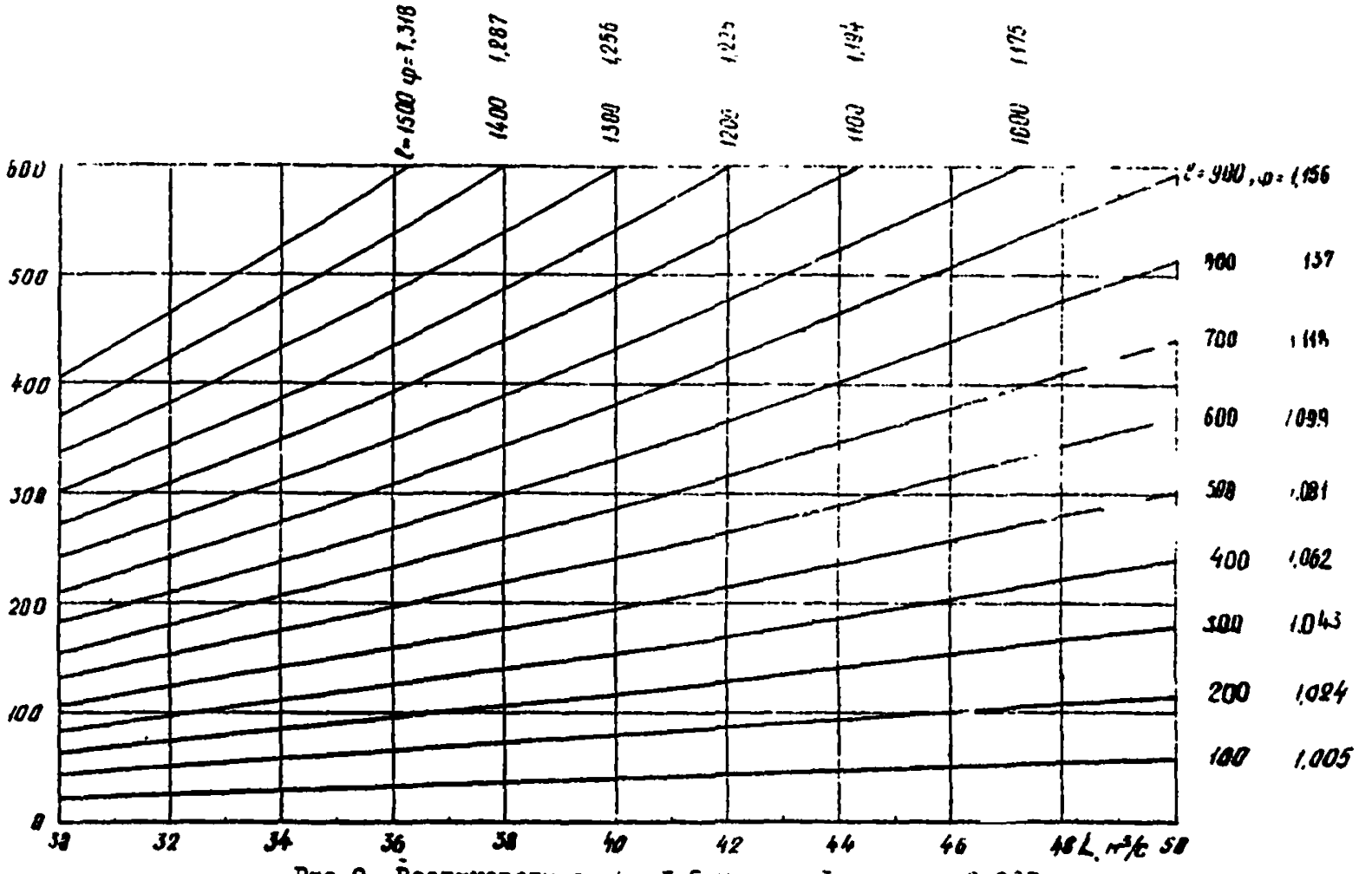


Рис.9. Воздуховоды с d = I,5 м; m = 3 м; K_0 = 0,00I

Приложение 10

ХАРАКТЕРИСТИКИ ТКАНЕВЫХ ТРУБ

Тип труб	Основа	Покрытие	Масса $1м^2$ материала, кг	Срок службы, мес.
МУ	Чефер	Двухстороннее натирочей резиной	I,5	22-26
ПХВ	- " -	Двухстороннее поливинилхлорвиниловое	I,2-I,4	24-26
ПХВ-К	Высокопрочный капрон	Одностороннее поливинилхлорвиниловое	I,0-I,I	28-30
ЧЛХВ	Комбинированная ткань	Двухстороннее поливинилхлорвиниловое	I,0-I,2	26-28
ЧЛХР	То же	Двухстороннее натирочей резиной	I,I-I,2	26-28
ЛХВ	Лавсан	Одностороннее поливинилхлорвиниловое	-	28-30
ЧЛХВ-У	Комбинированная ткань	Двухстороннее поливинилхлоридной смесью с добавлением углана	I,0-I,2	26-28

Диаметры выпускаемых труб 400, 500, 600, 800, I000 и I200 мм.

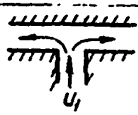
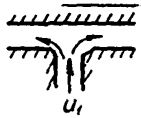
Длина звеньев для диаметров 400 и 500 мм - 5, I0, 20, 30 и 40 м;

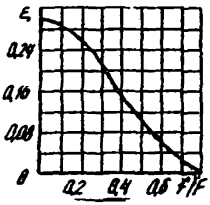
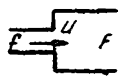
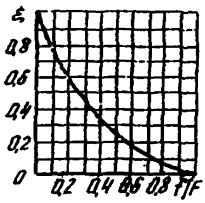
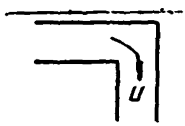
для диаметров 600 мм - 5, I0, 20 м;

для диаметров 800-I200 мм - 5 и I0 м.

Приложение II

КОЭФФИЦИЕНТЫ МЕСТНЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ ВЫРАБОТКИ

№ п/п	Название, форма	Коэффициент местного сопротивления	
		Значения ζ отнесены к скорости	
		U_1	U_2
I	Сопряжения		
		$\zeta = 3,6$	$\zeta = 0,4$
		$\zeta = 2,0$	-
		$\zeta = 2,0$	-
		$\zeta = 2,6$	$\zeta = 0,6$
		$\zeta = 2,5$	-
		$\zeta = 1,5$	-

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

Приложение I2

СПОСОБЫ УПЛОТНЕНИЯ ВОЗДУХОВОДОВ

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

Надо 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
	А. Стальные воздуховоды	
	Монтажные дефекты	
I	Непроваренный шов	Зашпаклевать нитрошпаклевкой, шпаклюемые места высушить Замазать кабельной мастикой (см.примечание I)
2	Негодный материал для прокладок между фланцами (малая толщина, недостаточная упругость)	Для одиночного стыка: ослабить болты, расклинить концы труб, законопатить пенькой или концами зазор между фланцами, замазать его кабельной мастикой или зачеканить расширяющимся цементом (РЦ), вынуть 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 каболкой или концами, пропитанными кабельной мастикой

№ п/п	Причина дефекта	Способы устранения
4	Вмятины на фланцах	Вмятину зачеканить РЦ
5	Помятые концы труб при бандажном соединении	При небольших вмятинах снять бандаж, выравнить впадину нанесением на нее нужного количества слоев материала, применяемого для прокладки (см.примечание 4)
		При наличии выпуклости (вмятины с внутренней стороны) снять бандаж, выправить бугор кувалдой и устранить неровности
6	Несовпадающая овальность труб	Снять бандаж, дополнительно уложить слой прокладочного материала так, чтобы его стык был сдвинут не менее чем на I/4 окружности от стыка ранее поставленного материала
7	Недостаточное прилегание прокладочного материала к трубам	Снять бандаж и прокладку, установить заново, заменив последнюю
	Слабая затяжка болтов бандажа	Затянуть болты
	Эксплуатационные дефекты	
8	Осадка опор воздуховода при фланцевом соединении	Ослабить болты, выровнить воздуховод на опорах установкой прокладок (так, чтобы не было перелома воздуховода), затянуть болты
9	Осадка опор воздуховода при бандажном соединении	Снять бандаж, выровнить воздуховод, уложить дополнительный прокладочный слой (см.п.6), поставить бандаж
I0	Механические повреждения (помятость околошовных участков)	Снять болты с фланцев или бандаж, вынуть звено, выправить его и поставить на место
II	Разрушение стыков(старение прокладок, см. примечание 5)	В бандажном соединении заменить прокладку, при фланцевом соединении см. п.2

№ п/п	Причина дефекта	Способ устранения
	Б. Тканевые воздуховоды	
I	Пропуск воздуха в стыках. Недостаточное натяжение воздуховода	Увеличить статическое давление в воздуховоде, поставив на выходе из него диафрагму
2	Износ местами покрытия из ткани	Поставить заплаты согласно инструкции по эксплуатации

Примечания: I. Кабельная мастика готовится из нефтяного битума марки 5 - 3 части, машинного масла (можно отработанного) марки АС-8 I часть и латекса (желательная добавка) 0,2 части.

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

В качестве заменителя может применяться бутепрол.

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 вмятин и достаточность их исправления целесообразно устанавливать с помощью шаблона, имеющего форму неполного полукольца.

4. Стирание и обжатие прокладок особенно вероятны при фланцевых соединениях, вследствие многократных знакопеременных температурных деформаций воздуховодов.

ХАРАКТЕРИСТИКИ ОСНОВНЫХ ВИДОВ ВЕНТИЛЯТОРОВ

Параметры	Единицы измерения	Типоразмеры		
		ЦАП-4	ВИП-5	ВИП-3
Диаметр рабочего колеса	мм	400	500	300
Производительность	$м^3$/мин	85	I20	45
Давление	Па(кгс/$м^2$)*	I400 (I40)	I500(I50)	I250(I25)
Коэффициент полезного действия вентилятора		0,70	0,7I	0,00
Рабочее давление сжатого воздуха(воды)	мПа(кгс/$см^2$)	0,5(5)	0,5(5)	
Расход сжатого воздуха(воды)	$м^3$/мин	4	6	
Габаритные размеры:	мм			
длина		300	380	-
высота		556	680	450
ширина		500	660	450
Масса	кг	50	75	Проект

* Здесь и далее при указании величины давления (напора) в новой и старой системах измерения принято, что I кгс/$м^2$ ≈ I0 Па.

Аэродинамические характеристики вентиляторов, рекомендуемых в тоннелестроении, приведены на рис. I-8.

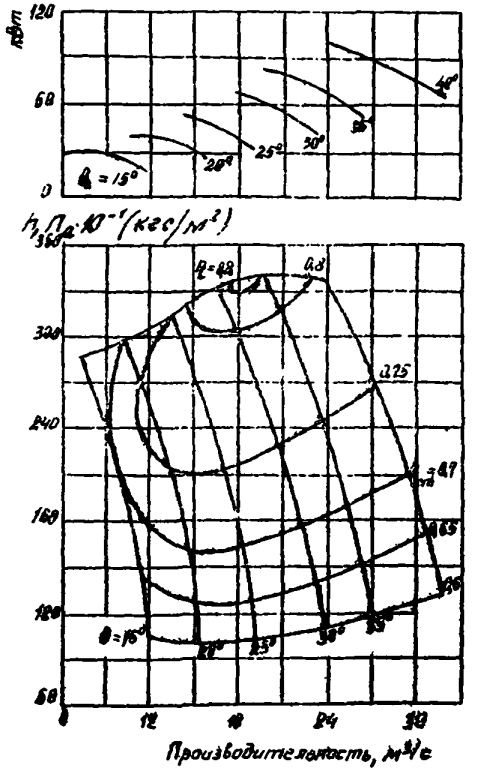


Рис.I. Аэродинамические характеристики вентилятора ВОД-II при n_1 = 1420 об/мин

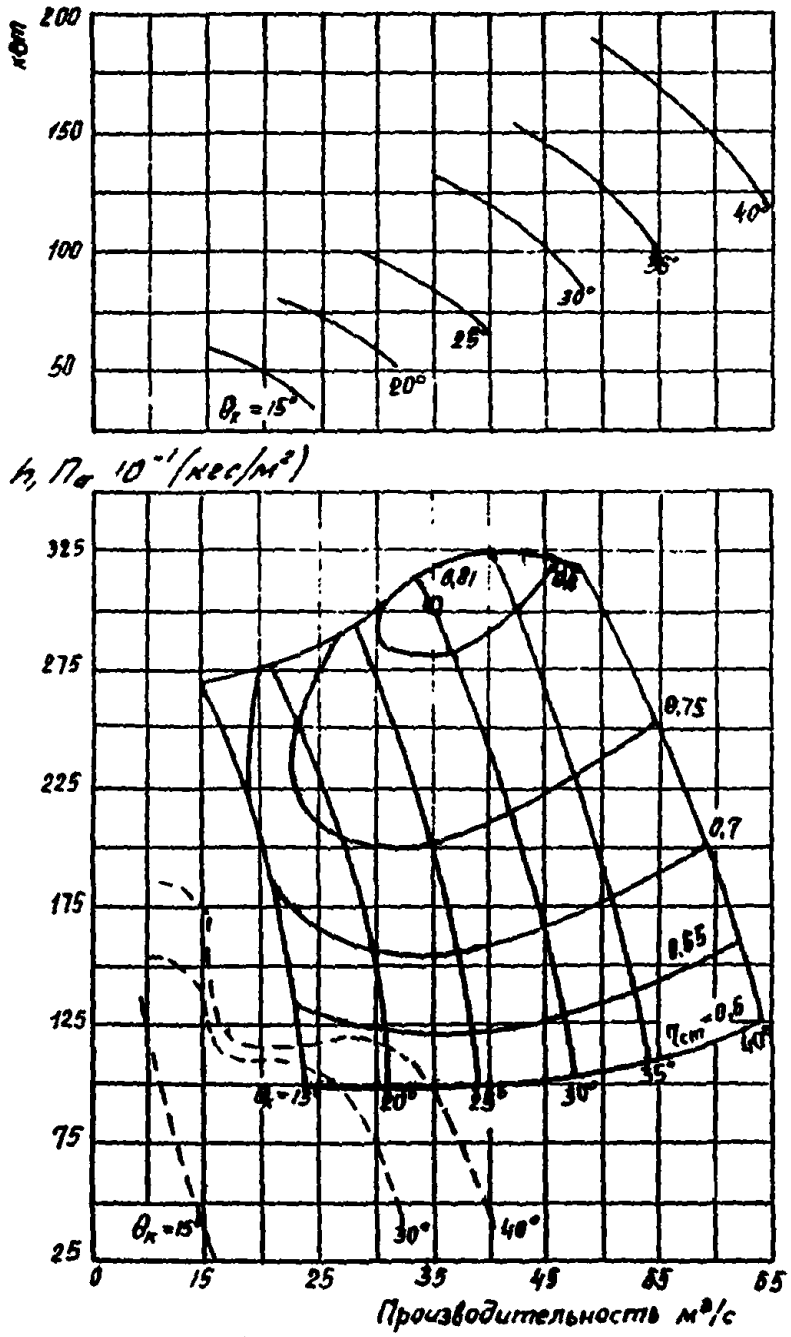


Рис.2. Аэродинамические характеристики вентилятора ВОД-16 при n = 980 об /мин

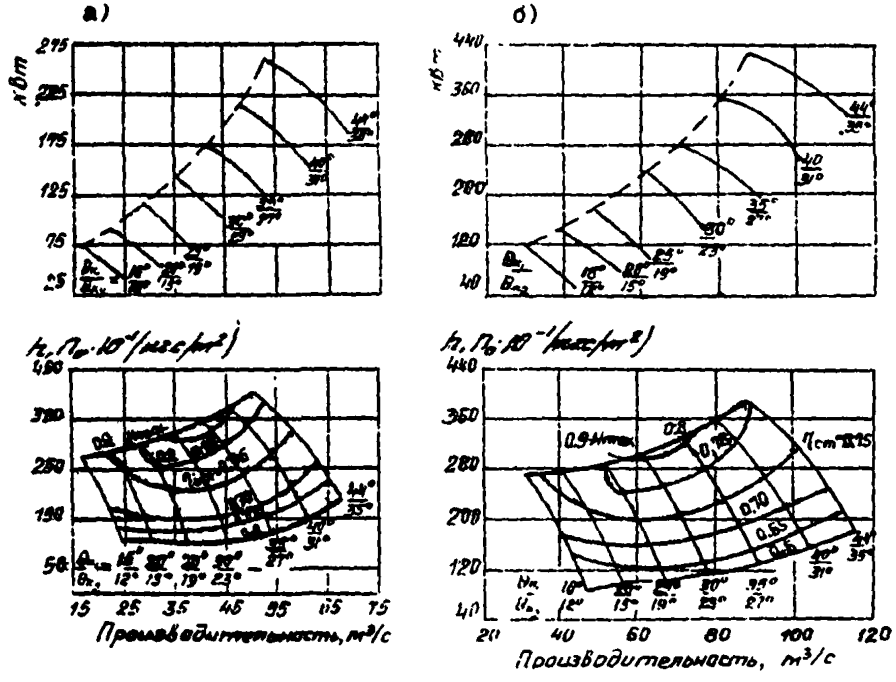


Рис.3. Аэродинамические характеристики вентиляторов:
а - ВВВ-16 при n = 980 об/мин; б - ВВВ-21 при
n = 750 об/мин

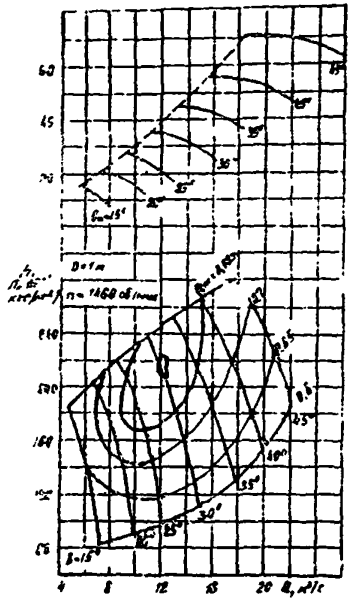


Рис.4. Аэродинамические характеристики вентиляторов ВОКД-I,0 при n = I460 об/мин

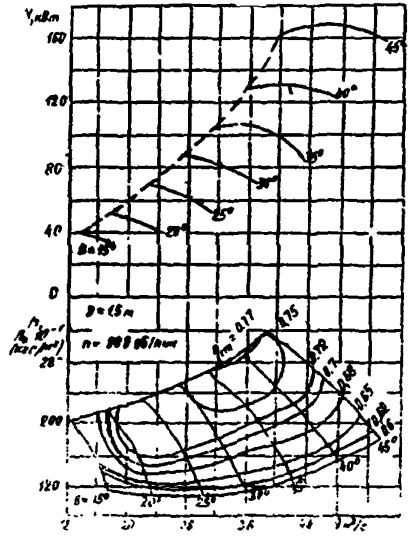


Рис.5. Аэродинамические характеристики вентиляторов ВОКД - I,5 при n = 980 об/мин

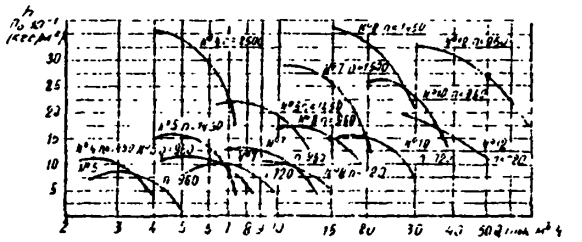


Рис.6. Аэродинамические характеристики вентиляторов ЦП

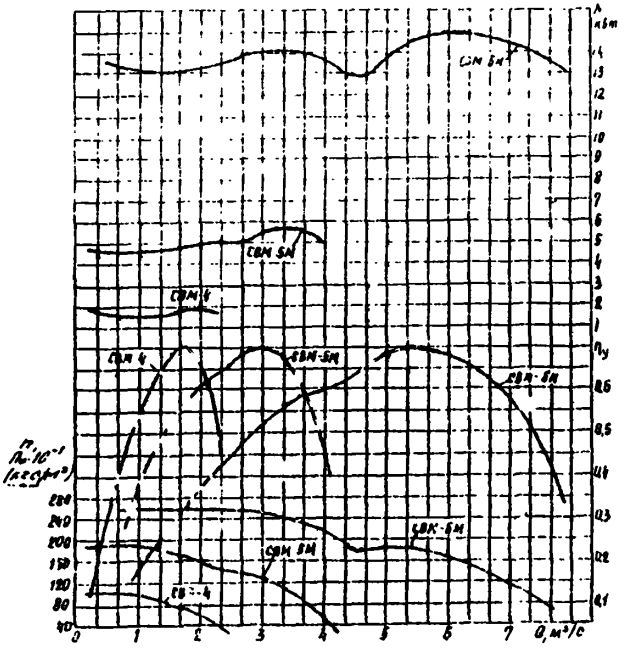


Рис.7. Аэродинамические характеристики вентиляторов СВМ

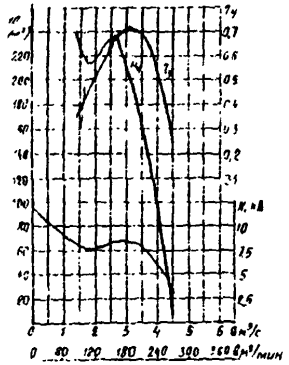


Рис.8. Аэродинамические характеристики вентилятора "Проходка-500-2Д"

Приложение I4

ПРИМЕР РАСЧЕТА МОЩНОСТИ КАЛОРИФЕРОВ ДЛЯ НАГРЕВА ВЕНТИЛЯЦИОННОГО ВОЗДУХА

Исходные данные:

Диаметр выработки ..... $d = 8,5$ м;

Периметр выработки ..... $P = 26,69$ м;

Площадь поперечного сечения ..... $F_{выр} = 56,72$ м^2;

Эквивалентный радиус ..... $R_э = 4,25$ м.

Первоначальная температура породы, окружающей выработку, $t = +5^0$; коэффициент теплопроводности $\lambda = 1,9$ ккал/(м^2·ч·^{0}С) ($\lambda = 2,2$ вт/(м^2·^{0}С)), коэффициент температуропроводности $a = 0,00318$ м^2/ч.

В выработке осуществляется приточная вентиляция. Диаметр воздуховода $d = 0,7$ м; периметр его $\Pi = 2,2$ м. По воздуховоду подается $Q = 3$ м^3/с = 10800 м^3/ч воздуха. Расчетная температура наружного воздуха $t_н = -42^0$С. В выработке следует обеспечить температуру не ниже $t_в = 10^0$С. Длина выработки $l_{выр} = 2500$ м; срок строительства 4 года или $\tau_р = 35040$ ч.

Требуется определить мощность калориферных установок.

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

$$t_{нас} = t_в + \frac{N(e^n + 1)}{e^n + 1 + 2M}(t_в - t_н),\ ^0\text{С}.$$

Определяем

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

$$e^n = 75,94.$$

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

$$k = 1,3\frac{\lambda_п\left(1+0,27\sqrt[4]{\frac{a_п\tau_р}{R_э^2}}\right)}{0,88\sqrt{a_п\tau_р} + \frac{\lambda_п}{\alpha_п}} =$$

0,25 ккал/(м^2·ч·^{0}С) (0,27 вт/м^2·^{0}С).

Здесь

$$\alpha_n = 4{,}5\ \frac{L^{0{,}8}\rho^{0{,}2}}{T_{ср}} = 4{,}5\ \frac{3^{0{,}8}\cdot 26{,}69^{0{,}2}}{56{,}72} =$$

$$= 4{,}5\ \frac{2{,}41\cdot 1{,}928}{56{,}72} = 0{,}37\ \text{Вт/(м}^2\cdot{}^\circ\text{C)}$$

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

Следовательно,

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

Отсюда

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

Определяем мощность калориферных установок по формуле (29)

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

Приложение 15

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ГИДРООБЕСПЫЛИВАНИЯ

Средства борьбы с пылью	Эффективность
Бурение	
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
Взрывание	
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	0,60–0,70
туманообразователей	0,70–0,80
Комплексное применение средств пылеподавления:	
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
Погрузка	
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 оросительной системы на комбайне	0,91-0,95
Нагнетание воды в массив, туманообразователи, внутренняя и внешняя водяные забойки	0,80-0,87

Примечание. Эффективностью средства обеспыливания называется величина, равная отношению

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

где A - интенсивность пылевыделения при процессах, длящихся во времени, или начальная концентрация пыли при ее залповых выбросах без каких-либо средств пылеподавления;

ΔA - интенсивность или концентрация пыли при использовании данного средства гидрообеспыливания.

Приложение I6

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, являются разработка забоя, погрузка и транспортировка породы.

Основными средствами борьбы с пылью при разработке забоя являются встроенные в комбайны установки пылеподавления, 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	Единице измерения	Комбайн		Установка ППУ-2
		ПК-9р	4ПП-2	
Производительность по отсосу воздуха	$м^3$/мин	I80	I80	75-350
Расход воды	л/мин	I40	I50	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, воздухозаборный 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, фильтра, вентиля, средств блокировки и автоматизации орошения, манометра и системы разводки воды. Форсунки оросительных устройств устанавливаются на близком расстоянии (0,4–0,6 м) от источника образования пыли. Расход воды на оросительные устройства погрузочных машин определяется по формуле

$$Q_{вод} = q_{вод} A_м, \text{ л/мин},$$

где $q_{вод}$ – удельный расход воды на I м^3 погружаемой горной массы ($q_{вод}$ = 40–50 л/мин);

$A_м$ – максимальная производительность машины, м^3/мин.

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

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

Приложение 17

БОРЬБА С ПЫЛЬЮ ПРИ БУРЕНИИ ШПУРОВ В МЕРЗЛЫХ ПОРОДАХ

I. Применение воды

Отрицательная температура породы сама по себе не является препятствием для применения воды в целях промывки шпуров при бурении. Необходимо, чтобы температура воды и режим ее подачи были такими, при которых не было бы образования льда. В тоннельных выработках это вполне реально, так как температура воздуха в них не должна опускаться ниже 2°С.

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

$$\pi \cdot \frac{d_{вх}^2}{4} \cdot \gamma_{вх} \cdot t_{вх} \geq t_{вых} + \frac{\pi d_{ш}^2}{[illegible]}$$

$$[illegible] \cdot (1-\omega) \cdot \frac{d_{ш}^2 \cdot \gamma_{вх} \cdot \omega \cdot c_{в}}{4} \cdot (t_{вых} - t_{п}) + \frac{\pi d_{ш}^2 \cdot \gamma_{вх} \cdot \omega \cdot r}{2(\gamma_{вх} \cdot c_{в} + \pi d_{ш} \cdot \alpha \cdot \ell)}$$

где

$Q_{вх}$ и $c_{в}$ – соответственно весовой расход, кг/л, и удельная теплоемкость воды, кДж/(кг·°С) (ккал/(кг·°С));

$t_{вх}$ и $t_{вых}$ – температура воды на входе в штангу и на выходе из шпура, °С;

$t_{п}$, $\gamma_{п}$ и $c_{п}$ – соответственно температура, °С, плотность, кг/м³, и удельная теплоемкость породы, кДж/(кг·°С) (ккал/(кг·°С));

$d_{ш}$ и ℓ – диаметр и длина шпура, м;

α – коэффициент теплоотдачи от воды стенке шпура

$$\alpha = 5{,}7 \frac{(\gamma w_{ш})^{0{,}8}}{d^{0{,}2}} \text{ Вт/(м}^2\cdot{}^\circ\text{С)} \left(4{,}9 \frac{(\gamma w_{ш})^{0{,}8}}{d_{э}^{0{,}2}} \text{ ккал/(м}^2\text{ч}\cdot{}^\circ\text{С)}\right)$$

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

$d_{э}$ – эквивалентный диаметр шпура, м.

$v_{бур}$ – скорость бурения скважины, м/ч;

ω – объемная влажность породы (льдистость) в долях единицы;

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

$\gamma_{в}$ – плотность воды, кг/м³;

Зная температуру воды на выходе из шпура и геометрические характеристики скважины и теплофизические константы породы, можно определить требующуюся температуру воды на входе в буровую штангу. Самым неблагоприятным моментом будет окончание бурения, когда длина ℓ является наибольшей.

Пример I.

Дано: $d_н$ = 0,042; $L_н$ = 4 м; $V_{вн}$ = 0,6 м/мин = 36 м/ч;
$\gamma_в$ = 2800 кг/м^3; $C_н$ = 0,92 кДж/(кг^{0}С)
($C_н$ = 0,22 ккал/(кг^{0}С)); G = 7 кг/мин = 420 кг/ч;
c = 4,2 кДж/(кг^{0}С) (c = I,0 ккал/(кг^{0}С)); γ = I000 кг/м
ω = 0,I; r = 346 кДж/кг (r = 80 ккал/кг); $t_н$ = -I^{0}С.

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

Найти температуру воды на входе $t_{в_1}$, чтобы $t_{ш_{min}}$ была не менее 0^{0}С.

Расчет начинаем с определения α.

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

$$w_в = \frac{7 \cdot 10^{-8} \cdot 4}{\pi(4{,}2^2 - 2{,}5^2) \cdot 10^{-4} \cdot 60} = 0{,}I3 \text{ м/с};$$

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

$$\alpha = 5{,}7 \frac{(2800 \cdot 0{,}I3)^{0{,}8}}{0{,}027^{0{,}2}} = 580 \text{ Вт/(м}^2\text{·}^0\text{С)},$$

$$(\alpha = 4{,}9I \frac{(2800 \cdot 0{,}I3)^{0{,}8}}{0{,}027^{0{,}2}} = 500 \text{ ккал/(м}^2\text{·ч·}^0\text{С)}).$$

По формуле настоящего приложения

$$min\, t_{в_1} \geq 0 + \frac{3{,}I4 \cdot 4{,}2 \cdot 10^{-2}}{420 \cdot I - \frac{3{,}I4 \cdot 4{,}2^2 \cdot 10^{-2} \cdot 500 \cdot 4}{4}} \left\{ 500 \cdot 4 + \right.$$

$$+ \frac{4{,}2 \cdot 10^{-2} 36 \cdot 2800 \cdot 0{,}22^2}{4} (I - 0{,}I) +$$

$$\left. + \frac{4{,}2 \cdot 10^{-2} \cdot I000 \cdot 0{,}I \cdot I}{4} \right\} (0 + I) +$$

$$+ \frac{3{,}I4 \cdot 4{,}2^2 \cdot 10^{-4} \cdot 36 \cdot 0{,}I \cdot I000 \cdot 80}{2(2 \cdot 420 \cdot I - 3{,}I4 \cdot 4{,}2 \cdot 10^{-2} \cdot 500 \cdot 4)}; \qquad min\, t_{в_1} \geq 2{,}4^0\text{С}.$$

Этот расчет производился в старой системе единиц.

Вода на входе в штангу должна иметь температуру всего 2,4^{0}С, что гарантирует отсутствие ее замерзания.

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

Если при бурении попадается линза, заполненная льдом, то для его расплавления температуре воды на входе в бур должна быть не менее 15°С (это не означает, что такую температуру надо поддерживать при бурении – вполне допустимо плавление только части льда и выход из скважины воды с ледяной крошкой).

Пример 2.

Дано: d_0=0,105 м; $v_{кр}$ = 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:

$$\alpha = 122 \text{ ккал/(м}^2\text{·ч·}^0\text{С)}.$$

$$min\, t_s \geq 0 + \frac{3,14 \cdot 10,5 \cdot 10^{-2}}{900 \cdot 1 - \frac{3,14 \cdot 10,5 \cdot 10^{-2} \cdot 122 \cdot 4}{2}} \left\{ 122 + \right.$$

$$+ \frac{10,5 \cdot 10^{-2} \cdot 3 \cdot 2800 \cdot 0,22}{4} (1-0,1) +$$

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

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

2. Пылеподавление антифризами.

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

Пылеподавляющее приспособление состоит из регулятора расхода жидкости, присоединяемого к перфоратору (например, ПР-30РЦ или ПР-30РК), резинотканевых рукавов, бака и переходника с 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. Резинотканевые рукава предназначаются для подачи сжатого воздуха с давлением до 6 кгс/см^2 в бак с раствором и для

подачи раствора из бака к регулятору.

Бак вместимостью 14 л, испытанный на давление 10 кгс/см^2, служит для хранения и переноски смачивающей жидкости. Переходник, вмонтированный в магистраль, служит для подачи сжатого воздуха в бак, контроля и изменения давления. На нем установлены вентиль и манометр.

Сжатый воздух из магистрали по резинотканевому рукаву подается в бак с раствором. Жидкость из бака под давлением воздуха по второму резинотканевому 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 шпура. Буровой штыб, увлажненный жидкостью, выносится воздухом из шпура и выпадает на почву выработки.

В качестве незамерзающей пылеподавляющей жидкости по гигиеническим и экономическим соображениям рекомендуются водные растворы хлористого натрия и 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^3	Количество соли на 1 л воды, г	Плотность раствора при 15°С, г/см^3
-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.Магадане.

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 строительстве тоннелей предусматривает применение специальных буровых агрегатов ПБА и "Фурекава". При одновременной работе шести тяжелых перфораторов типа БУ-1м (агрегат ПБА-1) требуется отсасывать и очищать не менее 60 м^3/мин запыленного воздуха, при работе того же количества перфораторов типа РД-100 (агрегат "Фурекава") - производительность пылеотсасывающей установки должна быть не менее 70 м^3/мин.

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

Максимальное количество отсасываемого и очищаемого от пыли воздуха не превышает 2-3 м^3/мин при бурении шпуров и 10-12 м^3/мин при бурении скважин.

Для улавливания пыли при бурении ручными и телескопными перфораторами типа ПР-30К, ПР-30КС, ПРО-24Л и др. в заводском исполнении поставляются несколько типов пылеулавливающих установок: ТБНОТ СПАР-4 и ДСП-3 (количество отсасываемого воздуха 0,4-0,5м^3/мин) пылеуловитель ВНИИ-1 И-С4РД и др.

Имеется опыт централизованного удаления пыли при работе нескольких ручных перфораторов.

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

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

бурильных машин типа БУ-1м с расходом сжатого воздуха на к
установку 10-12 м^3/мин и суммарным расходом до 70 м^3/мин.

Применять на индивидуальные пылеулавливающие установки
каждой бурильной машины нецелесообразно по условиям их разм
на буровой раме.

Для дальнейших проработок и исследований можно предложи
в качестве базовой следующую схему централизованного пылеотс
для буровых агрегатов ПБА-1 и "Фуренкова" с использованием тя
перфораторов типа БУ-1м и РД-700.

От устья каждого шпура отсос пыли производится через пы
емный колпак, на котором устанавливается отдельный побудител
ги - эжектор (например, Э-95 с расходом сжатого воздуха 2,5
производительностью до 15 м^3/мин и создаваемым разрежением
700 мм вод.ст.). Запыленный воздух по гибким шлангам от кажд
перфоратора через сборную камеру поступает в отдельный цикло
пылевой циклон типа ЦН.

Далее очистка воздуха далее производится в матерчатом
с пневматическим встряхиванием фильтрующей ткани. Чистый в
дается в атмосферу призабойной зоны.

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

Окончательный выбор побудителей тяги, типов и количестве
эжекторов, фильтра тонкой очистки производится после детального р

ПРИМЕР РАСЧЕТА КОМБИНИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ВЕНТИЛЯЦИИ

Условия задачи.

Железнодорожный однопутный тоннель сооружается двумя параллельными выработками: основной – с площадью поперечного сечения $S_o = 62{,}3\ м^2$ и штольни – с $S_ш = 14{,}1\ м^2$.

Штольня располагается на 20 м от основной выработки. Через каждые 300 м делается обойма выработок с той же площадью поперечного сечения, что и у штольни.

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

Разработка породы ведется буровзрывным способом, транспортировка – двумя машинами МОАЗ независимо по штольне и основной выработке. Скорость движения транспорта по выработкам $V = 12$ км/ч = 3,34 м/с.

Для уборки породы из забоя штольни необходимы 5 ездок, основной выработки – I9 ездок.

Наибольшая длина выработок, проходимых по указанной схеме, составляет:

штольни $\ell_1 + \ell_ш = 1500$ м,

тоннеля $\ell_1 + \ell_2 = 1200$ м.

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

для штольни $t_{ц.ш} = 30$ мин,

для тоннеля $t_{ц.т} = 25$ мин.

Система вентиляции – комбинированная по схеме "сквозняк + вытяжка".

Требуется рассчитать воздухообмены сквозной вентиляции и 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 воздуховодов по выработкам (использовать воздуховоды для удаления выхлопных газов автомашин экономически невыгодно, так как это требует существенно больших воздухообменов).

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

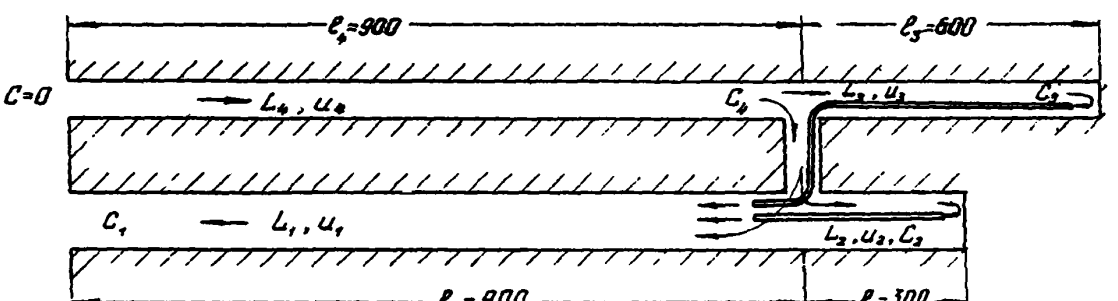


Рис.I. Расчетная схема проветривания (длины выработок ℓ в м)

оборудования для обеих систем и т.п.Разбирается только расчет требуемой производительности вентиляции при транспортировке породы, осложненный 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 сквозного 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 груженый.

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

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

Некоторая доля L_3 воздуха с этой концентрацией забирается в тупиковую часть штольни, где получает дополнительное загрязнение до концентрации C_3 от отстоев под погрузкой машины.

Другая часть воздуха L_2 идет в забой основной выработки и загрязняется там до концентрации C_2 .

Воздух с концентрациями C_1 , C_3 , C_4 и соответственными расходами L_1 , L_3 и $L_4 = L_2 - L_3$ смешивается в точке A основной выработки и на ее длине дополнительно разбавляет вред ю вещества от курсирующей автомашины, в результате чего у портала концентрация стенорится равной C_f .

Эта концентрация не должна превышать предельно допустимой.

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

Условная схема заключается в следующем: имеется основная выработка длиной $l_1 + l_2 = 1200$ м, проветриваемая воздухом с фоновой концентрацией C_ϕ , равной концентрации вредных веществ в воздухе, поступающем из вспомогательной штольни.

$$C_\phi = \frac{(L_4 - L_3)C_1 + L_3 C_3}{L_1}$$

Расчет ведем методом подбора. Для этого выполняем следующее:

а) определяем через c_φ безразмерные параметры вентиляции $\bar{\varphi}$, ξ и w (см. приложение 6) для основной выработки (индекс "о")

$$\bar{\varphi}_o = \frac{\varphi_o V}{2(l_1 + l_2)} = \frac{25 \cdot 60 \cdot 3{,}34}{2(900+300)} = 2{,}1;$$

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

$$= 0{,}64\ (20 - c_\varphi)$$

(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/м³;

$\bar{q}_a$ – средний расход выхлопных газов для грузовой и породной машины (номинальной мощностью 200 л.с.), идущих по выработке $\bar{q}_a = 200 - \frac{10 + 8}{2} \cdot 10^{-4}$ м³/с (см. п. 2.1 основного текста);

c_a – средняя концентрация окиси углерода в выхлопных газах; $c_a = \frac{2 + 1{,}6}{2} \cdot 10^3$ мг/м³.

Задаваясь значениями c_φ, подсчитываем ξ и по номограмме приложения 6 находим ;

б) определяем максимально необходимый расход воздуха L'_φ для разбавления газов одной стоящей (под погрузкой) машины

$$L'_\varphi = \frac{q_a}{c_\varphi} = \frac{200 \cdot 8 \cdot 10^{-4} \cdot 1{,}6 \cdot 10^3}{c_\varphi} = \frac{256}{c_\varphi}\ \text{м}^3/\text{с}$$

(параметры газовыделений принимаем такими же, как для породной машины);

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

$$L'_\varphi = F_{св}\, v_\varphi = F_{св}\, v + \frac{q_a c_a}{c_\varphi} = 14{,}1 \cdot 3{,}34 + \frac{8 \cdot 10^{-4} 200 \cdot 1{,}6 \cdot 10^3}{c_\varphi} =$$

$$= 47 + \frac{256}{c_\varphi}\ \text{м}^3/\text{с};\quad L''_\varphi = 47 - \frac{256}{c_\varphi}\ \text{м}^3/\text{с};$$

г) по наибольшему из значений L_φ, определенных по пп. "б" и "в", вычисляем v_φ и $\bar{v}_\varphi$

$$v_\varphi = \frac{L_\varphi}{F_\varphi} = \frac{L_\varphi}{62{,}3}\ \text{м/с};$$

$$\bar{w}_0 = \frac{v}{u_1} = \frac{3,34 \cdot 62,3}{L_4} = \frac{208}{L_4};$$

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

Вычисления представлены в табличной форме

$$\epsilon_0 = 2,1$$

c_φ	ξ_0	$\bar{w}_0$	L_4'	L_4''	L_4^*	$\bar{w}_0$
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	$\boxed{2,9}$	24,3	71,4	22,6	$\boxed{2,90}$

Значение c_φ = 10,5 мг/м^3 является расчетным.

Определяем

$$u_1 = \frac{L_4}{62,3} = \frac{71,4}{62,3} = 1,14 \text{ м/с};$$

$$u_4 = \frac{L_4}{14,1} = \frac{71,4}{14,1} = 5,05 \text{ м/с}.$$

Расход L_3 определяется соотношением

$$F_a u_3 c_3 = L_4 c_\varphi; \text{ отсюда } L_3 = L_4 u_3 = \frac{L_4 c_\varphi}{c_3} = \frac{71,4 \cdot 10,5}{20}$$

$$= 37,5 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Соответственно $u_3 = \frac{37,5}{14,1} = 2,66$ м/с.

Расход L_2 находим, пользуясь номограммой приложения 6. Для этого определяем

$$\epsilon_2 = \frac{v}{2l_2} = \frac{25 \cdot 60 \cdot 3,34}{2 \cdot 300} = 8,3;$$

$$\xi_2 = \frac{F_a v (c_{вх} - c_\varphi)}{\bar{q}_a (c_a - c_\varphi)} = \frac{62,3 \cdot 3,34 (20 - 10,5)}{200 \cdot 9 \cdot 10^{-4} \cdot 1789,5} = 6,15;$$

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

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

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):

$$h_l = \alpha \frac{P}{F} l_4 u_4^2 = 150 \cdot 10^{-4} \frac{13}{14,1} \cdot 900 \cdot 5,05^2 =$$

$$= 318 \text{ Па } (31,8 \text{ кгс/м}^2).$$

То же участка I:

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

Местные сопротивления (см.приложение II) определяются

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

Скоростной напор

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

Общая потеря давления на тракте

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

По характеристикам подходит, например, группа, состоящая из 5 параллельно работающих пар вентиляторов МЦ-12 (каждая пара – два 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^2, обусловливающее необходимость устройства шлюза, для данного примера вполне приемлемого, так как по штольне, согласно условиям задачи, за транспортный цикл машина будет делать всего 5 ездок.

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

Распределение статического давления по выработкам показано на рис.2.

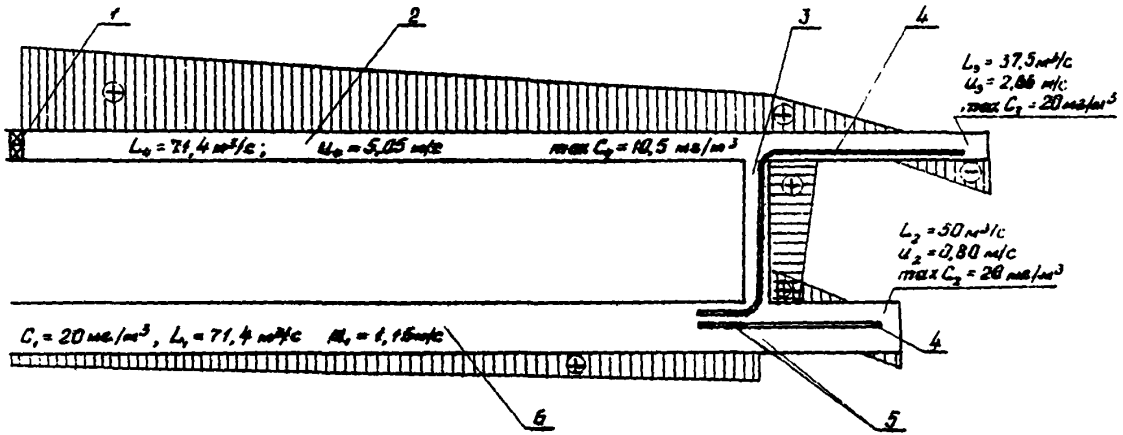


Рис.2. Распределение давлений в выработках при комбинированной вентиляции:
1 - вентиляторы у портала штольни; 2 - штольня; 3 - обойка; 4 - воздуховоды;
5 - вентиляторы местного проветривания; 6 - основная выработка

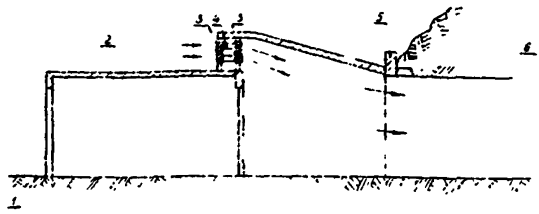


Рис.3. Подача воздуха через портал штольни:
I - ворота; 2 - вилы; 3 - вентиляторы; 4 - вставки между вентиляторами; 5 - оголовок портала; 6 - штольня;
направление движения воздуха

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

Просто приточная вентиляция 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., Главтранспроект, 1969.

2. Тоннели. Справочно-методическое пособие. М., Транспорт, 1979.

3. Высокопроизводительные технологические схемы сооружений горных транспортных 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. Радченко Г.А. Обеспыливающее проветривание подземных выработок. Алма-Ата, Наука, 1970.

8. Гришаев В.И. Вентиляция тоннелей на железных дорогах. М., Трансжелдориздат, 1961.

9. Иванаев М.И. Бурение шпуров при проходке подземных выработок. М., Оргтрансстрой, 1971.

10. Скобунов В.В. Профилактика силикоза при строительстве тоннелей и метрополитенов. М., Оргтрансстрой, 1968.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ 3

I. 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 21

5. ВЫБОР СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ 39

6. ГЛУШЕНИЕ ШУМА ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ УСТАНОВОК 46

ПРИЛОЖЕНИЯ

I. Характеристики основных газовых примесей в воздухе рабочей зоны тоннельных выработок 50

2. Характеристики основных пылевидных примесей (аэрозолей) в воздухе тоннельных выработок ... 54

3. Метеорологические условия в рабочей зоне тоннельных выработок 55

4. Характеристики вредных веществ, выделяемых при сварке в тоннельных выработках 56

5. Определение расходов воздуха продольной системы вентиляции и системы с распределенной раздачей при автомобильной возке породы и материалов в выработке 57

6. График расчета вентиляции выработок, в которых работают одиночные автомашины (МОАЗ) или дизель-поезда 62

7. Номенклатура стальных воздуховодов, применяемых в рудничной вентиляции 63

8. Выбор диаметра воздуховода 64

9. Определение мест установки вентиляторов на воздуховодах 66

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

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

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

gost.e-ecolog.ru