

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
Санкт-Петербургский горный университет**

**Кафедра строительства горных предприятий
и подземных сооружений**

**СТРОИТЕЛЬСТВО
ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ
ПРОВЕТРИВАНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ
ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК**

*Методические указания к практическим занятиям
для студентов специальности 21.05.04*

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2019**

УДК 622.2(073)

СТРОИТЕЛЬСТВО ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ. Проветривание горизонтальных горных выработок. Методические указания к практическим занятиям. / Санкт-Петербургский горный университет. Сост.: *О.В. Трушко, Д.А. Потемкин, П.К. Тулин* СПб, 2019. 13 с.

Методические указания содержат материал по схемам проветривания горизонтальных горных выработок, типам вентиляторных установок и вентиляционных трубопроводов, и методике расчета проветривания при проведении выработок.

Полученные студентами на практических занятиях знания и навыки необходимы в дальнейшем при выполнении курсовых и дипломных проектов по специальным дисциплинам.

Предназначены для студентов специальности 21.05.04 «Горное дело» специализаций «Подземная разработка пластовых месторождений», «Подземная разработка рудных месторождений».

Научный редактор проф. *А.Г. Протосеня*

Рецензент канд. техн. наук *А.Б. Максимов* (ООО «Геотехническое бюро»)

ВВЕДЕНИЕ

В процессе ведения горных работ в шахтах образуется значительное количество ядовитых газов и пыли, которые загрязняют рудничную атмосферу. Одним из основных способов создания нормальных санитарно-гигиенических условий труда является эффективное проветривание горных выработок.

Практические занятия предназначены для более глубокого усвоения лекционного материала по теме «Проветривание горизонтальных горных выработок».

В процессе занятий студенты изучат схемы проветривания горизонтальных горных выработок, типы вентиляторных установок и вентиляционных трубопроводов, их выбор, методику расчёта проветривания при проведении выработок.

По окончании курса «Строительство горных предприятий» студенты смогут с учётом заданных горно-геологических условий и параметров горных выработок обеспечить климатические условия, обеспечивающие производительные и вместе с тем комфортные условия труда.

1. ПРОВЕТРИВАНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

1.1. Общие сведения

Проветривание горных выработок - создание в подземных выработках шахт нормальных атмосферных условий, исключение вредного воздействия на человека содержащихся в рудничной атмосфере ядовитых газов, высоких и низких температур, а также предотвращение образования опасных скоплений вредных газов.

Проветривание подземной горной выработки производится в строгом соответствии с паспортом проветривания. Этот обязательный документ составляется для проведения всех подземных выработок. Паспорт проветривания составляется начальником участка утверждается главным инженером рудника; с паспортом должны быть ознакомлены под расписку рабочие и технический персонал, связанные с выполнением горно-проходческих работ.

Паспорт проветривания содержит схему вентиляции, изображенную на плане и поперечном разрезе выработки, характеристики выработки, системы вентиляции, вентилятора, вентиляционных труб, а также содержит необходимые дополнительные сведения о средствах и способах проветривания.

При проведении и эксплуатации выработок контролируются содержание в их атмосфере кислорода, углекислого газа, вредных веществ, в том числе пыли, а также скорость воздуха, его температура и влажность, которые не должны превышать предельно допустимых концентраций и норм.[1,6]

1.2. Методика расчёта проветривания при проведении горизонтальных горных выработок

Расчёт проветривания при проведении выработок состоит в выборе вентиляторной установки и вентиляционного трубопровода и выполняется в следующей последовательности:

- выбираются тип и диаметр вентиляционного трубопровода из возможности его размещения в поперечном сечении выработки;
- рассчитываются количества воздуха, которые надо подавать в забой по факторам газовыделения, разбавления газов после ведения взрывных работ, количеству одновременно находящихся в выработке людей, тепловому и пылевому факторам, суммарной

мощности работающих дизельных двигателей самоходного оборудования, минимальной скорости движения воздушной струи;

– определяются требуемые производительность (подача) и депрессия вентиляторной установки;

– выбирается ближайший типоразмер вентилятора местного проветривания;

– проверяется соответствие выбранной вентиляторной установки условиям проведения выработки;

– определяется рациональный режим работы вентилятора местного проветривания. [5]

1.3. Типы вентиляторных установок и вентиляционных трубопроводов

Вентиляторы ВМ-4, ВМ-5, ВМ-6, ВМ-12 используются для проветривания выработок длиной до 500 м, а при их последовательном соединении - более 500 м.

Центробежные вентиляторы ВЦ-7, ВМЦ-8, ВЦ-9 применяются в выработках протяжённостью до 2000 м, в особо опасных условиях - вентиляторы типа ВМП и ВКМ.

Наиболее распространены гибкие вентиляционные трубы диаметром 0,3–1,2 м и с длиной звеньев 5, 10 и 20 м.

Металлические и стеклопластиковые трубы диаметром 0,3–1,2 м с длиной звеньев 3, 3,5, 4 м применяются в протяжённых выработках при наличии большого метановыделения, запылённости и при проведении выработок по пластам, опасным по внезапным выбросам угля и газа. [4]

1.4. Расчёт проветривания при проведении горизонтальных горных выработок

а. Расход воздуха по газам, образующимся после взрывных работ.

$$Q'_{з.п.} = \frac{2,25 \cdot S_{св}}{T} \sqrt[3]{\frac{Q_{вв} I_{вв} L^2 k_{обв}}{S_{св} k_{ут}}}, \text{ (м}^3\text{/мин)} \quad [1]$$

где $S_{св}$ – площадь выработки в свету; T – время проветривания забоя после взрыва, мин; $Q_{вв}$ – масса одновременно взрывающегося ВВ, кг

(фактическая); $I_{\text{ВВ}}$ – газовость ВВ, л/кг (принимается равной 100,70 и 40 л/кг при взрывании по угольному, смешанному и породному забоям соответственно); L – длина выработки, м (при протяжённости выработок более 500 м в формулу вместо L подставляется $L_{\text{кр}}$, но если критическая длина трубопровода получается больше длины выработки, то в формулу подставляется проектная длина выработки); $k_{\text{обв}}$ – коэффициент, учитывающий обводненность выработки; $k_{\text{ут}}$ – коэффициент утечек воздуха.

$$L_{\text{кр}} = 12,5 \frac{Q_{\text{ВВ}} I_{\text{ВВ}} k_{\text{T}}}{S_{\text{св}} k_{\text{ут}}^2}, \text{ (м)} \quad [2]$$

где k_{T} – коэффициент турбулентной диффузии полной свободной струи воздуха.

Значения k_{T} зависят от диаметра трубопровода, отставания торца трубы от забоя и местоположения трубы в сечении выработки.

Местоположение трубопровода в сечении выработки характеризуют приведенным диаметром трубопровода $d_{\text{пр}}$, значение которого принимают $d_{\text{пр}}=1,5d_{\text{T}}$ – при расположении трубопровода посередине ширины или высоты выработки и $d_{\text{пр}}=2d_{\text{T}}$ – при расположении трубопровода в углу выработки; здесь d_{T} – принятый диаметр трубопровода, м.

Расстояние от торца трубопровода до забоя ($l_{\text{тр}}$) принимают согласно ПБ $l_{\text{тр}} \leq 8$ м – для шахт опасных по газу или пыли, $l_{\text{тр}} \leq 12$ м для шахт неопасных. [2]

Коэффициент $k_{\text{обв}}$ принимается в соответствии со следующими данными:

Выработки	$k_{\text{обв}}$
Породы сухие (приток до 1 м ³ /ч); горизонтальные и наклонные выработки по сухим породам	0,8
Породы обводненные (приток до 6 м ³ /ч); горизонтальные и наклонные выработки, частично проходимые по водоносным породам (влажные выработки)	0,6
Породы обводненные (приток 6-15 м ³ /ч); горизонтальные и наклонные выработки на всю длину, проходимые по водоносным породам или с применением водяных заслонов (обводненные выработки)	0,3
Породы обводненные (приток более 15 м ³ /ч);	0,15

Коэффициент k_{τ} изменяется [4] в зависимости от отношения $l_{\text{заб.}}/d_{\text{тр}}$ ($l_{\text{заб.}}$ – расстояние от забоя до конца вентиляционного трубопровода (8 или 12 м), м; [2] $d_{\text{тр}}$ – диаметр трубопровода, м) следующим образом:

$l_{\text{заб.}}/d_{\text{тр}}$	3,22	3,57	3,93	4,28	4,80	5,40	6,35
k_m	0,247	0,262	0,267	0,287	0,3	0,335	0,395
$l_{\text{заб.}}/d_{\text{тр}}$	7,72	9,60	12,10	15,80	21,85	30,80	48,10
k_{τ}	0,46	0,519	0,6	0,672	0,747	0,810	0,873

Коэффициент утечек воздуха для металлических трубопроводов:

$$k_{\text{ут.м}} = \left(\frac{1}{3} k_{\text{уд.ст}} d_{\text{тр}} \frac{l_{\text{тр}}}{l_{\text{зв}}} \sqrt{R_{\text{тр}} + 1} \right)^2, \quad [3]$$

где $k_{\text{уд.ст}}$ – удельный стыковочный коэффициент воздухопроницаемости, зависящий от качества соединения звеньев; $l_{\text{тр}}$ – длина трубопровода, м; $l_{\text{зв}}$ – длина звена трубопровода, м; $R_{\text{тр}}$ – аэродинамическое сопротивление трубопровода, $\left(\frac{H \cdot c^2}{M^8} \right)$.

Значения коэффициента $k_{\text{уд.ст}}$ принимают с учетом качества сборки магистрали воздухопровода:

Качество сборки труб	Утечки воздуха	$k_{\text{уд.ст}}$
Удовлетворительное	Допустимые	0,002-0,005
Хорошее	Незначительные	0,001-0,002

Удовлетворительное качество сборки труб допускается только при $l_{\text{тр}} < 450$ м.

Аэродинамическое сопротивление трубопровода:

$$R_{\text{тр}} = \frac{6,5\alpha l_{\text{тр}}}{d_{\text{тр}}^5}, \left(\frac{H \cdot c^2}{M^8} \right) \quad [4]$$

где α - коэффициент аэродинамического сопротивления (таблица 1).

Таблица 1

Значения коэффициента аэродинамического сопротивления α

Трубы	$d_{тр}, м$						
	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
Стальные	-	0,002	0,002	0,0013	0,0013	0,0013	-
Текстови- нитовые	0,0036	0,0055	0,0055	0,0030	0,0029	0,0028	0,0025
Типа М	0,0045	0,0045	0,0040	-	-	-	-

Для труб типа М коэффициент утечек воздуха при 20-метровых звеньях зависит от $l_{тр}$:

$l_{тр}$	$k_{ут.тр}$	$l_{тр}$	$k_{ут.тр}$	$l_{тр}$	$k_{ут.тр}$
50	1,04	300	1,19	800	1,43
100	1,07	400	1,25	900	1,54
150	1,11	500	1,30	1200	1,76
200	1,14	600	1,35	1500	2,09
250	1,16	700	1,39	2000	2,63

При увеличении числа стыков в результате применения 5- и 10-метровых звеньев $k_{ут.тр}$ принимает следующие значения:

Общее число стыков	4	5	6-8	9-11	12-14	15-17
$k_{ут.тр}$	1,04	1,05	1,07	1,11	1,15	1,19
Общее число стыков	18-20	21-25	26-35	36-45	46-55	
$k_{ут.тр}$	1,23	1,30	1,33	1,43	1,54	

б. Расчет необходимого количества воздуха по наибольшему числу людей.

$$Q_{з.п.}'' = 6n, (м^3/мин) \quad [5]$$

где 6- норма расхода воздуха на 1 человека (по ПБ – 6 м³/мин);
n -наибольшее количество людей.

в. Расчет необходимого количества воздуха по минимальной скорости движения воздуха.

$$Q_{3.п.}''' = 60V_{\min} \cdot S_{св}, \text{ (м}^3\text{/мин)} \quad [6]$$

где V_{\min} - общий расход воздуха по минимальной скорости движения воздуха принимаемый в соответствии с правилами безопасности, м/с (0,15; 0,25; 0,5 соответственно для шахт неопасных по газу или пыли; I и II категории и III категории и сверхкатегорных). [2]

Из полученных трех значений $Q_{3.п.}'$; $Q_{3.п.}''$; $Q_{3.п.}'''$ выбираем максимальное (Q_{\max}).

Вентилятор местного проветривания выбираем по расходу воздуха для проветривания выработки и депрессии вентилятора.

г. Определение требуемой производительности (подачи) вентилятора местного проветривания.

$$Q_{в}^{\text{треб}} = k_{ут} \cdot Q_{\max}, \text{ (м}^3\text{/мин)/(м}^3\text{/с)} \quad [7]$$

д. Определение депрессии вентилятора.

Для гибких трубопроводов:

$$h = R_{тр} \cdot Q_{в}^{2(\text{треб})} \left(\frac{0,59}{k_{ут}} + 0,41 \right)^2, \text{ (Па)} \quad [8]$$

где $R_{тр}$ - аэродинамическое сопротивление гибкого трубопровода, ($k\mu$) или $\left(\frac{H \cdot c^2}{m} \right)$ (см. табл. 2).

Для жестких трубопроводов:

$$h = 1,2 \cdot R_{тр} \cdot k_{ут} \cdot Q_{в}^{2(\text{треб})}, \text{ (Па)} \quad [9]$$

Таблица 2

Зависимость $R_{тр}$ от длины и диаметра гибкого трубопровода

Расчетная длина трубопровода, м	$d_{мп}$				
	300	400	500	600	1000
50	600	160	50	20	4
100	1200	300	100	40	8
150		430	140	55	11
200		560	180	85	15
250		690	220	100	20
300		810	260	130	24
400		1020	330	155	31
500		1230	400	180	40
600		1420	470	200	45
700		1610	530	225	50
800		1790	590	238	55
900			640	280	60
1000			710	320	70
1200			820	360	80
1400			910	400	90
1600			980	450	95
1800			1070	490	100
2000			1150	500	150

Проверка соответствия типоразмера вентилятора условиям проветривания заключается в построение аэродинамических характеристик вентилятора.

Расчётная точка с координатами $Q_B^{треб}$, h должна размещаться в поле аэродинамической характеристике вентилятора местного проветривания с электродвигателем при его коэффициенте полезного действия не менее 0,5.

Технические характеристики вентиляторов местного проветривания представлены в таблице 3.

Для совместной работы используют не более двух вентиляторов одного типоразмера.

Депрессии последовательно работающих вентиляторов суммируются при одних и тех же количествах подаваемого в забой воздуха.

Производительности параллельно работающих вентиляторов суммируются при одних и тех же депрессиях. [3]

Техническая характеристика вентиляторов местного проветривания

Параметры	Осевые							
	ВМ-3М	ВМ-4М	ВМ-5М	ВМ-6М	ВМ-8М	ВМП-4*	ВМП-6*	
Производительность, м ³ /мин	20-90	60-150	180	300	210-650	85	312	
Давление, кПа	2,0-8,5	3,0-13,5	18	25	15-36	14	19,5	
Диаметр входного и выходного патрубков, мм	300	400	500	600	800	400	600	
КПД вентилятора	0,65	0,7	0,71	0,72	0,73	0,22	0,3	
Мощность двигателя, кВт	2,2	4,0	13	24	50	-	-	
Масса, кг	45	107	250	375	650	50	270	

Параметры	Центробежные		
	ВЦО-0,6	ВЦ-7	ВЦПД-8
Производительность, м ³ /мин	50-462	60-510	240-1380
Давление, кПа	25-60	10-97	25-90
Диаметр входного и выходного патрубков, мм	600	700	800
КПД вентилятора	0,76	0,83	0,86
Мощность двигателя, кВт	50	75	125
Масса, кг	608	900	1098

* Расход сжатого воздуха вентиляторами ВМП-4 и ВМП-6 составляет 4 и 15 м³/мин соответственно.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бурчаков А.С. Аэрология горных предприятий. Бурчаков А.С., Медведев И.И., Пучков Л.А., Ушаков К.З. Недра, Москва, 1987. - 421 с.

2. Единые правила безопасности при разработке рудных, нерудных и россыпных месторождений полезных ископаемых подземным способом (ПБ 03-553-03). М., 2003.

3. Мельник В.В. Подземная геотехнология. Основы технологии сооружения участковых подземных горных выработок [Электронный ресурс]: Учебное пособие/ Мельник В.В., Абрамкин Н.И., Виткалов В.Г.– Электрон. текстовые данные. – М.: Издательский Дом МИСиС, 2016. – 93 с.

4. Патрушев М.А. Руководство по проектированию вентиляции угольных шахт. Недра, Москва 1975. - 238 с.

5. Протосеня А.Г. Строительство горных предприятий и подземных сооружений [Электронный ресурс]: Учебник/ Протосеня А.Г., Долгий И.Е., Очкуров В.И. – Электрон. текстовые данные. – СПб.: Санкт-Петербургский горный университет, 2015. – 390 с.

6. Трушко О.В. Строительство горных предприятий [Электронный ресурс: Учебное пособие / Трушко О.В., Потёмкин Д.А. СПбГУ. СПб, 2018. - 170 с.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. ПРОВЕТРИВАНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК	4
1.1. Общие сведения.....	4
1.2. Методика расчёта проветривания при проведении горизонтальных горных выработок	4
1.3. Типы вентиляторных установок и вентиляционных трубопроводов	5
1.4. Расчёт проветривания при проведении горизонтальных горных выработок	5
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	12

**СТРОИТЕЛЬСТВО
ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ
ПРОВЕТРИВАНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ
ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК**

*Методические указания к практическим занятиям
для студентов специальности 21.05.04*

Сост.: *О.В. Трушко, Д.А. Потемкин, П.К. Тулин*

Печатается с оригинал-макета, подготовленного кафедрой
строительства горных предприятий и подземных сооружений

Ответственный за выпуск *О.В. Трушко*

Лицензия ИД № 06517 от 09.01.2002

Подписано к печати 11.09.2019. Формат 60×84/16.
Усл. печ. л. 0,75. Усл.кр.-отг. 0,75. Уч.-изд.л. 0,7. Тираж 100 экз. Заказ 785. С 281.

Санкт-Петербургский горный университет
РИЦ Санкт-Петербургского горного университета
Адрес университета и РИЦ: 199106 Санкт-Петербург, 21-я линия, 2