#### ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

# Московский государственный горный университет Кафедра «Аэрология и охрана труда»

Допущено учебно-методической комиссией МГГУ по направлению «Безопасность жизнедеятельности»

Каледина Н.О., Артемьев В.Б., Косарев В.Д., Мещеряков Д.А.

# Методические указания

по проведению практических занятий и самостоятельной работе студентов по дисциплине «Вентиляция шахт»

для специальности «Подземная разработка месторождений полезных ископаемых»

Каледина Н.О., Артемьев В.Б., Мещеряков Д.А., Косарев В.Д. **Методические указания** по проведению практических занятий и самостоятельной работе студентов по дисциплине «Вентиляция шахт» для специальности «Подземная разработка месторождений полезных ископаемых». 2009. - с.

Приведено описание методических основ проектирования системы вентиляции шахты (рудника) и ее основных элементов, расчетные формулы, варианты заданий, даны методические указания по необходимым расчетам, вопросы для самоконтроля, список нормативно-методической литературы.

Рекомендуется для студентов специальности «Подземная разработка месторождений полезных ископаемых» при изучении дисциплины «Вентиляция шахт».

Авторы: д.т.н. Каледина Нина Олеговна

д.т.н. Артемьев Владимир Борисович

к.т.н. Косарев Виктор Дмитриевич

к.т.н. Мещеряков Дмитрий Альбертович

# СОДЕРЖАНИЕ

	стр.
Введение	4
1. Расчет вентиляции тупиковых выработок	5
2. Расчет расхода воздуха для шахты (рудника)	14
3. Расчет депрессии шахты (рудника)	25
4. Выбор вентилятора главного проветривания	33
Список рекомендуемой литературы	36
ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Учебная программа по дисциплине «Вентиляция шахт»	37
ПРИЛОЖЕНИЕ 2. Характеристики вентиляторов	

### **ВВЕДЕНИЕ**

Дисциплина «Вентиляция шахт» является важнейшей составляющей подготовки горного инженера, обеспечивающей приобретение профессиональных компетенций в области промышленной безопасности шахт и подземных рудников. В процессе изучения данной дисциплины студенты должны овладеть научными основами вентиляции шахт, изучить методы и способы проветривания подземных горных выработок и управления рудничной вентиляцией, аппаратуру контроля параметров рудничной атмосферы, а также структуру и организацию работы службы вентиляции шахт.

Практические занятия должны помочь студентам приобрести навыки и умение работать с нормативно-справочной литературой, изучить соответствующие разделы отраслевых правил безопасности и освоить применение содержащихся в них требований при решении практических задач вентиляции шахт.

Учебное пособие предназначено для проведения практических занятий по дисциплине «Вентиляция шахт» и как руководство для самостоятельной работы студентов дневного и заочного обучения.

Курс практических занятий предусматривает выполнение типовых расчетов по проектированию вентиляции основных объектов проветривания, а также самостоятельную проработку отдельных тем. Поэтому в данном пособии приведены методические указания по самостоятельному изучению ряда разделов с контрольными заданиями, а также вопросы для самоконтроля по разделам, изучаемым с преподавателем. В приложении приводится учебная программа по дисциплине.

## 1. РАСЧЕТ ВЕНТИЛЯЦИИ ТУПИКОВЫХ ВЫРАБОТОК

#### 1.1. Методика расчета параметров проветривания тупиковой выработки

Расчет вентиляции тупиковых выработок включает расчет расхода воздуха и депрессии ВМП, а также выбор типа вентилятора, типа и диаметра вентиляционного трубопровода, схемы установки ВМП.

Расчет расхода воздуха при этом производится по основным определяющим факторам:

по людям,

вредным и опасным газам,

по выхлопным газам от ДВС,

по ВВ.

из которых к расчету принимается максимальное значение.

Расчет расхода воздуха по людям  $Q^{\scriptscriptstyle \Pi}_{\scriptscriptstyle \Pi.3.}$  осуществляется по следующей формуле:

$$Q_{n.3.}^{n} = 6N_{\rm q}$$
 , m<sup>3</sup>/мин; (1.1)

где  $N_{\scriptscriptstyle \rm I}$  - максимальное количество людей, одновременно работающих в забое (по нормам на одного человека для дыхания необходимо подавать не менее 6 м  $^3$ /мин воздуха).

Расчет расхода воздуха по вредным газам  $Q^{r}_{n,3}$  осуществляется по следующей формуле:

$$Q_{n.3.} = \frac{I_{c}}{C_{don} - C_{0}} \cdot 100 \tag{1.2}$$

где  $I_{c}$  – абсолютная газообильность, м  $^{3}$ /мин;

 $C_{\partial on}$  и  $C_{\partial}$  – концентрация метана, соответственно допустимая в исходящей струе и начальная в поступающей, %; принимаем  $C_{\partial} = 0$ .

Расчет расхода воздуха по выхлопным газам от ДВС  $Q^{\text{ДВС}}_{\text{п.з.}}$  осуществляется по следующей формуле:

$$Q^{\text{ДВС}}_{n.3.} = nG_{y\partial}N_{\text{ДВС}}$$
, м <sup>3</sup>/мин; (1.3)

где  $G_{yo}$  – удельный расход воздуха на единицу мощности ДВС: принимается равным 5 м  $^3$ /мин на 1 л.с. мощности или 6,8 м  $^3$ /мин на 1 кВт;

 $N_{\it ДВС}$  - суммарная мощность одновременно работающих машин с ДВС, л.с. или кВт;

n — коэффициент, учитывающий количество одновременно работающих машин с ДВС, (n=l при одной машине; n=0.85 при двух машинах; n=0.6 при трех машинах и более ).

Расчет расхода воздуха по взрывным газам  $Q^{BB}_{\ \ \Pi.3.}$  осуществляется по следующей формуле:

$$Q^{BB}_{n.s.} = \frac{2.25}{T} \sqrt[3]{\frac{k^{obs}}{k_{ym.mp}^2} V_{BB} S^2 l_{\kappa p}^2} , \text{ M}^{3}/\text{MUH};$$
 (1.4)

где  $V_{BB}$  - объем вредных газов, образующихся после взрыва,  $\pi$ , определяется по формуле:  $V_{BB} = 100~B_{yz} + 40~B_{nop}$ , соответственно масса одновременно взрываемого ВВ по углю и породе,  $\kappa z$ ; в расчете принимать проходку по породе;

T – время проветривания выработки после взрывания, определяется в соответствии с требованиями ПБ (ЕПБ), *мин*;

S – средняя площадь сечения выработки в свету,  $M^2$ ;

 $l_{kp}$  — критическая длина, м; при длине тупиковой части выработки 500м и более принимается равной 500м, при меньшей длине - определяется по формуле [3]:  $l_{kp}$ = 12,5  $V_{BB}$   $k_m$   $k_{zz}$  / S;

 $k_m$  - коэффициент турбулентной диффузии зависит от соотношения геометрических размеров трубопровода и принимает значения 0,3-0,9 (в расчетах принять среднее значение -0,6);

 $k_{27}$  — коэффициент, учитывающий изменение температуры пород с глубиной и обводненность выработки, принимает значения 0,1-0,9 (в расчетах принять среднее значение — 0,5);

 $k_{oбe}$  – коэффициент, учитывающий обводненность выработки, зависит от притока воды:

L, м³/час	< 1	1-6	6-15	≥ 15
$k_{o \delta s}$	0,8	0,6	0,3	0,15

 $k_{vm.mp.}$  – коэффициент утечек в трубопроводе.

Из полученных значений по формулам (1.1)-(1.4) выбираем максимальное значение:  $Q_{p \, \text{п.3}} = \max \{Q^i_{\, \text{п.3.}}\}.$ 

Затем полученное расчетное значение  $Q_{p \, \text{п.3}}$  проверяется по допустимым скоростям движения воздуха в выработках (расчетное значение должно обеспечивать скорость движения не менее минимально-допустимой и не более максимально-допустимой по ПБ или ЕПБ):

$$Q_{v \text{ min.}} \leq Q_{p \text{ n.s.}} \leq Q_{v \text{ max}}$$
 (1.5)

При этом

$$Q_{v \, min.} = 60 \, S_e V_{min} \, ; \quad Q_{v \, max.} = 60 \, S_e V_{max},$$
 (1.6)

где  $S_{e}$  – площадь поперечного сечения выработки в свету, м<sup>2</sup>;

 $V_{min}$ ,  $V_{max}$  — скорость движения воздуха, соответственно минимально-допустимая и максимально-допустимая по ПБ или ЕПБ, м/с.

В случае, если расчетный расход воздуха получился менее, чем обеспечивающий минимально-допустимую скорость движения, то к расчету принимается значение, соответствующее минимально-допустимой скорости воздуха  $Q_{v \ min}$ ; в том случае, если расчетный расход воздуха более, чем максимально-допустимый, то к расчету принимается значение, соответствующее максимально-допустимой скорости воздуха  $Q_{v \ max}$ .

Расчет требуемой депрессии ВМП осуществляется с учетом принятого способа проветривания забоя (в соответствии с требованиями ПБ или ЕПБ), типа и диаметра трубопровода. Характеристики аэродинамических сопротивлений трубопроводов приводятся в [3, 4, 5, 6 и др.].

$$h_{BMn} = h_{mp} + h_{M} + h_{\partial uH}$$
 (1.7)

где  $h_{\it вмn}$  ,  $h_{\it mp}$  ,  $h_{\it M}$  и  $h_{\it дин}$  - депрессия соответственно трения (статическая), местных сопротивлений и динамическая, Па.

Депрессия трения трубопровода рассчитывается по формуле:

$$h_{mp} = RQ_{BMII}^2 , \Pi a, \qquad (1.8)$$

где R – аэродинамическое сопротивление трения выработки,  $H \cdot c^2 / M^8$ ;

 $Q_{\it BM\Pi}$  - количество воздуха, проходящее через ВМП, м³/с.

Аэродинамическое сопротивление трения R рассчитывается по формуле:

$$R = \alpha \frac{6.5L}{d^5} , \qquad (1.9)$$

где  $\alpha$  - коэффициент аэродинамического сопротивления трубопровода,  $H \cdot c^2/M^4$ ; в расчете принимаем  $\alpha = 0.0035 H \cdot c^2/M^4$ ;

L – длина трубопровода, м;

d – диаметр трубопровода, м; в расчете принимаем d=0.6~M, при использовании дизельного оборудования – 0.8-1.0~M..

Депрессию, затрачиваемую на преодоление местных сопротивлений, можно определить расчетом [6] с учетом количества поворотов трубопровода и величины углов поворота:

$$h_{M} = 0.035 \, n \, z^{2} \, v_{mp}^{2} \tag{1.10}$$

где n — число поворотов, ед.;

z - угол поворота, радиан;

 $v_{\it mp}$  — расчетная скорость движения воздуха на выходе из трубопровода, м/с.

Для предварительного расчета (при отсутствии решения по схеме установки вентилятора) можно принимать

$$h_{M} = 0, 1h_{mp}$$
 (1.11)

Динамическая депрессия, обеспечивающая создание активной напорной струи на выходе из трубопровода при нагнетательном способе проветривания, определяется по формуле:

$$h_{\partial u_H} = \rho \frac{v_{mp}^2}{2}, \qquad (1.12)$$

$$v_{mp} = Q_{p \, n.3} / S_{mp} \tag{1.13}$$

где  $\rho$  – плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>; в расчете принимаем  $\rho$  = 1,2 кг/м<sup>3</sup>;

 $v_{mp}$  — скорость движения воздуха на выходе из трубопровода, м/с;

 $S_{mp}$  - площадь поперечного сечения трубопровода, м<sup>2</sup>.

Расход воздуха  $Q_{BM\Pi}$ , проходящего через вентилятор, определяется с учетом утечек в трубопроводе:

$$Q_{BM\Pi} = k_{vm.mp.} Q^p_{n.3.} \tag{1.14}$$

Выбор способа проветривания и типа ВМП осуществляется для полученных расчетных параметров - требуемых расхода воздуха и депрессии вентилятора, - по аэродинамическим характеристикам вентиляторов (заводским паспортам) с учетом опасности шахты (рудника) по выделению горючих газов. Характеристики основных типов вентиляторов приведены в [3, 4, 5, 6 и др.], а также в Приложении данного методического пособия..

Схема установки ВМП (последовательная или параллельная установка нескольких вентиляторов) выбирается в зависимости от конкретных условий и требуемых расходов и депрессий.

Место установки определяется в соответствии с требованиями ПБ (ЕПБ) по недопущению рециркуляции воздуха — на свежей струе, на ближе 10 м от сопряжения (устья) тупиковой выработки.

В отчете требуется привести чертеж с изображением схемы установки ВМП.

#### 1.2. Пример выполнения задания

2.1. Выполняем расчет расхода воздуха для проветривания тупикового забоя при проходке выработки длиной 600 м, с поперечным сечением 12,4 м², проводимой комбайном без применения буровзрывных работ. Самоходное оборудование с ДВС не применяется. Газообильность выработки по метану составляет 3 м³/мин. В забое одновременно работает 4 человека.

Расход воздуха по лимитирующим факторам:

- по людям 
$$Q^{n}_{n.3.} = 6N_{u} = 6\cdot 4 = 24$$
 м  $^{3}/$ мин  $= 0$ ,  $4$  м  $^{3}/c$ ;

- по горючим газам 
$$Q^{e}_{n.s.} = \frac{I_{e}}{C_{oon} - C_{0}} \cdot 100 = 3 \cdot 100/(1-0) = 300$$
 м  $^{3}/$ мин  $= 5$  м  $^{3}/c$ ;

- по выхлопным газам нет;
- по газам от взрывных работ нет;

 $\kappa$  расчету принимаем наибольшее из полученных значений —  $Q^{\max}_{n.s.} = 5$  м  $^3/c.$ 

2.2. Полученное значение проверяем по допустимой скорости движения воз-

$$\partial yxa$$
:  $Q_{v \text{ min.}} \leq Q_{v \text{ max}}^{\text{max}} \leq Q_{v \text{ max}}$ 

$$Q_{v \text{ min.}} = 0.5 \cdot 12.4 = 6.2 \text{ M}^3/c;$$

$$Q_{v \text{ max.}} = 4.0 \cdot 12.4 = 49.6 \text{ M}^3/c;$$

таким образом, полученное значение расхода воздуха не удовлетворяет требованиям безопасности по минимально-допустимой скорости движения воздуха в подготовительных забоях газовых шахт; следовательно, принимаем  $Q_{n,3}^p = 6.2 \text{ M}^3/c$ .

- 2.3. Определяем параметры вентилятора местного проветривания для вентиляции тупикового забоя:
- расход воздуха, проходящего через вентилятор

$$Q_{BMII} = k_{ym.mp.} Q^{p}_{n.s.} = 1,08 \cdot 6,2 = 6,7 \text{ M}^{3}/c;$$

- депрессия вентилятора:  $h_{\it вмn}=h_{\it mp}+h_{\it м}+h_{\it дин}$  ,

где 
$$h_{mp}=RQ_{BM\Pi}^2=63.2\cdot 6.7^2=2836.8\ \Pi a;$$
 $R=0.0035\cdot 600\cdot 6.5/0.6^5=63.2\ Hc^2/M^8\;\;;$ 
 $h_{M}=$ 
 $h_{\partial UH}=1.2\cdot 23.9^2/2=343.1\ \Pi a$ 

Следует отметить, что скорость движения воздуха для гибкого трубопровода велика, поэтому следует принимать трубопровод большего диаметра.

2.4. По полученным параметрам — необходимому расходу воздуха и депрессии — выбираем вентилятор местного проветривания (паспортные характеристики — у преподавателя): вентилятор СВМ-6, т.к. выработка опасна по газу, то способ проветривания — нагнетательный. Схема установки вентилятора приведена на рис.1.

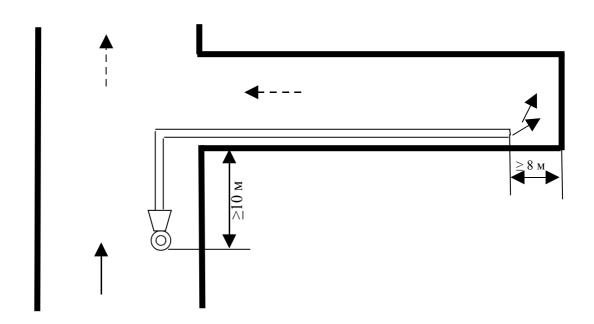


Рис. 1.1. Схема установки вентилятора местного проветривания

#### 1.3. Варианты заданий

NºNº п/п	Кол-во одно- вре- менно рабо- таю- щих в забое лю- дей, <b>N</b> <sub>ч,</sub> чел	Абсо- лют- ная га- зоо- биль- ность забоя, <i>I</i> <sub>г</sub> , м <sup>3</sup> /мин	Сум- мар- ная мощ- ность машин с ДВС, <b>N</b> <sub>ДВС</sub> , л.с.	Кол-во одно- вре- менно рабо- таю- щих в забое машин с ДВС, <b>п</b> , шт.	Кол-во одно- вре- менно взры- ваемо- го ВВ, <b>В</b> , кг	Пло- щадь попе- речно- го се- чения выра- ботки в све- ту, <b>S</b> , м <sup>2</sup>	Длина выра- ботки, <b>L</b> , м	Коэф- фици- ент утечек в тру- бопро- воде, <b>к</b> ут.тр	Коэф- фици- ент обвод- ненно сти, <b>К</b> обв	Условия проведе- ния выра- ботки
1.	6	0,2	120	1	60	18,2	600	1,2	0.8	По породе
2.	6	0,3	60	1	-	16,8	600	1,2	-	По углю
3.	6	0,5	96	1	60	16,2	300	1,2	0,3	По породе
4.	6	0,3	90	1	45	16,8	300	1,12	0,15	По породе
5.	6	1,0	60	1	45	16,2	150	1,12	0.8	По углю
6.	6	3,0	60	1	45	15,6	150	1,12	0,6	По углю
7.	6	0,5	60	1	-	16,2	500	1,06	-	По породе
8.	6	3,5	-	-	12,0	12,8	300	1,06	0,15	По углю
9.	6	3,0	-	-	15,0	12,8	500	1,06	0,3	По углю
10.	6	5,0	-	-	8,0	16,2	150	1,06	0,8	По углю

#### 1.4. Вопросы для самоконтроля (требуются письменные ответы)

- 1. Характеристика атмосферного воздуха и его составных частей.
- 2. Характеристика шахтного воздуха и его составных частей.
- 3. Предельно допустимые концентрации вредных и ядовитых газов в рудничном воздухе.
- 4. Пределы взрывчатости метана и водорода.
- 5. Допустимое содержание метана в горных выработках.
- 6. Абсолютная и относительная газообильность шахт.
- 7. Категории угольных шахт по газообильности.
- 8. Допустимые скорости движения воздуха в горных выработках.
- 9. Виды давления в движущемся воздухе.
- 10. Понятие депрессии.
- 11. Закон сопротивления, аэродинамическая характеристика шахты.
- 12. Режим работы вентилятора на сеть. Условия устойчивой работы вентилятора на сеть.
- 13.Совместная работа вентиляторов при их параллельной установке: условия эффективного применения.

14. Совместная работа вентиляторов при их последовательной установке: условия эффективного применения.

#### 1.5. Задание для самостоятельной работы

Изучение отраслевых правил безопасности ([1] или [2]) – раздел «Проветривание»: требования к составу атмосферы (ПДК вредных и опасных газов), требования к скорости движения воздуха в выработках; требования к организации проветривания тупиковых выработок, трубопроводам и вентиляторным установкам.

### 2. РАСЧЕТ РАСХОДА ВОЗДУХА ДЛЯ ШАХТЫ (РУДНИКА)

Для расчета расхода воздуха шахты необходимо иметь схему вентиляции шахты (сеть проектируемых выработок) с указанием названий выработок, их назначения и площадей поперечных сечений (приведены в разделе 3).

#### 2.1. Методика расчета общешахтного расхода воздуха

Расчет воздуха должен выполняться *позабойным методом*, предусматривающим расчет воздуха для каждого потребителя и последующее суммирование всех требуемых расходов. Расчет требуемого расхода воздуха выполняется по стандартной методике, описанной в [3, 4, 5, 6 и др.] и включает следующие этапы:

- 1. Расчет воздуха для проветривания подготовительных работ.
- 2. Расчет воздуха для проветривания очистных работ.
- 3. Расчет воздуха для обособленно проветриваемых выработок и камер общешахтного назначения.
- 4. Расчет внутренних утечек воздуха.
- 5. Расчет общешахтного расхода воздуха.

При расчете общешахтного расхода воздуха и распределении его в ШВС следует учитывать, что в соответствии с требованиями ПБ (ЕПБ), ВМП может забирать не более 70% воздуха, проходящего по выработке, в которой он установлен.

<u>Расчет воздуха для проветривания подготовительных работ</u> - выполняется по методике, описанной выше (раздел 1)

<u>Расчет воздуха для проветривания очистных работ</u> включает расчет воздуха для проветривания очистного забоя и выемочного участка (блока).

Расчет воздуха для очистного забоя  $Q_{oq}$  производится по основным определяющим факторам так же, как и для тупиковых забоев.

Расчет расхода воздуха по людям Q  $^{\rm n}_{\rm o.s.}$  осуществляется по следующей формуле:

$$Q_{o.3.}^{\pi} = 6N_{\rm q}$$
 , m<sup>3</sup>/мин; (2.1)

где  $N_{\scriptscriptstyle \rm H}$  - максимальное количество людей, одновременно работающих в забое (по нормам на одного человека для дыхания необходимо подавать не менее 6 м  $^3$ /мин воздуха).

Расчет расхода воздуха по вредным газам  $Q^{r}_{o.3.}$  осуществляется по следующей формуле:

$$Q^{z}_{o.3.} = \frac{I_{z}}{C_{oon} - C_{0}} \cdot 100 \tag{2.2}$$

где  $I_{\varepsilon}$  – абсолютная газообильность очистного забоя, м <sup>3</sup>/мин;

 $C_{\partial on}$  и  $C_{\partial}$  – концентрация метана, соответственно допустимая в исходящей струе и начальная в поступающей, %; принимаем  $C_{\partial} = 0$ .

Расчет расхода воздуха по выхлопным газам от ДВС  $Q^{\text{ДВС}}_{0.3.}$  осуществляется по следующей формуле:

$$Q^{\text{ДВС}}_{o.3.} = nG_{yo}N_{\text{ДВС}}$$
, м <sup>3</sup>/мин; (2.3)

где  $G_{yo}$  — удельный расход воздуха на единицу мощности ДВС: принимается равным 5 м  $^3$ /мин на 1 л.с. мощности или 6,8 м  $^3$ /мин на 1 кВт;

 $N_{\it ДВС}$  - суммарная мощность одновременно работающих машин с ДВС, л.с. или кВт;

n — коэффициент, учитывающий количество одновременно работающих машин с ДВС, (n=l при одной машине; n=0.85 при двух машинах; n=0.6 при трех машинах и более ).

Расчет расхода воздуха по взрывным газам  $Q_{0.3.}^{\mathrm{BB}}$  осуществляется по следующей формуле:

$$Q_{\text{o.3.}}^{\text{BB}} = \frac{34}{T} \sqrt{B_{\text{yr}} V_{\text{oq}}}, \, \text{m}^3/\text{muh};$$
 (2.4)

где T – время проветривания выработки, мин; принимается согласно ПБ;

 $B_{\rm yr}$  – масса одновременно взрываемых (ВВ ) по углю, м<sup>3</sup>;

 $V_{\text{оч}}$  – проветриваемый объем очистной выработки, м<sup>3</sup>;

$$V_{\text{OY}} = m_{\text{B.\Pi p.}} b_{\text{max}} l_{\text{OY}, M}^{3};$$
 (2.5)

где  $b_{max}$  — максимальная ширина призабойного пространства, м; принимается согласно паспорту крепления и управления кровлей, а для лавообразных выработок с большим шагом обрушения (закладки) — равной ширине трех рабочих лент (дорожек).

Для камероообразных очистных выработок

$$Q_{\text{o.s.}}^{\text{BB}} = \frac{27.5}{T} \sqrt[3]{B_{\text{уг}} V_{\text{оч}}^2}$$
, м<sup>3</sup>/мин. (2.6)

Из полученных значений по формулам (2.1)-(2.4) выбираем максимальное значение:  $Q_{p \ o.3} = \max \{Q^i_{o.3.}\}.$ 

Затем полученное расчетное значение  $Q_{p\,o.3}$  проверяется по допустимым скоростям движения воздуха в выработках (расчетное значение должно обеспечивать скорость движения не менее минимально-допустимой и не более максимально-допустимой по ПБ или ЕПБ):

$$Q_{v \text{ min.}} \leq Q_{p \text{ o.s.}} \leq Q_{v \text{ max}}$$
 (2.7)

При этом

$$Q_{v \, min.} = 60 \, S_{ou} V_{min} \, ; \quad Q_{v \, max.} = 60 \, S_{ou} V_{max},$$
 (2.8)

где  $S_{e}$  – площадь поперечного сечения очистного забоя в свету, м<sup>2</sup>;

 $V_{min}$ ,  $V_{max}$  — скорость движения воздуха, соответственно минимально-допустимая и максимально-допустимая по ПБ или ЕПБ, м/с.

В случае, если расчетный расход воздуха получился менее, чем обеспечивающий минимально-допустимую скорость движения, то к расчету принимается значение, соответствующее минимально-допустимой скорости воздуха  $Q_{v \, min}$ ; в том случае, если расчетный расход воздуха более, чем макси-

мально-допустимый, то к расчету принимается значение, соответствующее максимально-допустимой скорости воздуха  $Q_{v \, max}$ .

При выполнении задания расчетное значение расхода воздуха принимать из таблицы 2. 3.

Расход воздуха для выемочного участка (блока)  $Q_{\text{в.у.}}$  выполняется с учетом принятой системы разработки [3, 4]. При этом учитываются утечки воздуха через выработанное пространство:

$$Q_{\text{6.y.}} = k_{\text{0.3.}} Q_{\text{ou.}}$$
 ,  $M^3/MUH$ . (2.9)

Рекомендуемые значения коэффициента утечек воздуха в очистном забое для возвратноточной схемы вентиляции с выдачей исходящей струи на массив указаны в табл. 1.

Способ управления кров- лей	Породы непосредственной кровли	k <sub>0.3.</sub>
1	2	3
1. Полное обрушение	Песчаники	1,30
	Песчанистые сланцы	1,25
	Глинистые сланцы	1,20
	Сыпучие	1,05
2. Плавное опускание	Глинистые сланцы	1,15
3. Частичная закладка	Глинистые сланцы	1,10
4. Полная закладка	Глинистые сланцы	1,05

<u>Примечание.</u> При отработке тонких и средней мощности крутых пластов щитовыми агрегатами типа АЩ, АНЩ значение  $k_{o.3}$  принимается равным 1,15.

Для резервных участков (подготовленных, но не введенных в эксплуатацию) расход воздуха принимается равным  $0.5~Q_{\text{в.у.}}$ 

<u>Расчет воздуха для обособленно проветриваемых выработок</u> определяется по минимально-допустимой скорости движения воздуха в зависимости от наличия в них источников выделения вредностей (в соответствии с требованиями [1 или 2]):

$$Q_{v min.} = 60 S_{o.s.} V_{min}, M^3/MUH.$$
 (2.10)

При отсутствии источников выделения вредностей в обособленно проветриваемых выработках минимально-допустимую скорость следует принимать равной 0,15 м/с. Для газовых шахт - 0,25 м/с.

К обособленно проветриваемым выработкам относятся выработки, которые в соответствии с ПБ или ЕПБ должны проветриваться обособленно (склады ВМ, зарядные камеры, панельные или этажные (блочные) наклонные выработки, оборудованные конвейерами), а также все выработки, нейтральные в отношении вентиляции, неучтенные в типовом расчете (например, стволы или шурфы, неиспользуемые для подачи воздуха в шахту или выдачи его на поверхность, - при комбинированных схемах вентиляции или при наличии специального воздухоподающего ствола).

<u>Расход воздуха для камер общешахтного назначения</u> определяется по соответствующим формулам, приведенным в [3, 4, 5, 6 и др.].

B задании суммарный расход воздуха для общешахтных камер для всех вариантов принять  $15.0 \text{ m}^3/\text{c}$ .

Расчет общешахтных внутренних утечек воздуха может производиться двумя способами [3, 4, 7, 8]: путем суммирования утечек по каждому вентиляционному сооружению на основе нормативов утечек [8], или укрупнено, учитывая статистические данные о фактических внутренних утечках в шахтах в зависимости от принятой схемы вентиляции [3]: при этом методе величина внутренних утечек может быть определена как доля от общешахтного расхода воздуха в соответствии с данными таблицы 2. Величина утечек через выработанные пространства в действующих очистных забоях здесь не учитываются, т.к. они учтены в расчете расходов воздуха для выемочных участков.

#### Доля внутренних утечек воздуха в зависимости от схемы проветривания шахты

№№ п/п	Тип схемы вентиляции шахты	Q <sub>ут</sub> /Q <sub>ш</sub>	k <sub>ym u</sub>
1)	Центрально-сдвоенная	0,3	1,3
2)	Центрально-отнесенная	0,25	1,25
3)	- при наличии специального вентиляционного (воздухоподающего) ствола	0,20	1,20
4)	Фланговая	0,15	1,15
5)	- при наличии специального вентиляционного (воздухоподающего) ствола	0,1	1,1
6)	Комбинированная	0,2	1,2

<u>Расчет общешахтного расхода воздуха</u> осуществляется путем суммирования требуемых расходов по всем потребителям воздуха в шахте по формуле (2.11):

$$Q_{o\delta u_i} = 1,1(1,15\sum_{i=1}^{n} Q_{e.y.i} + \sum_{j=1}^{m} Q_{m.e.j} + \sum Q_{o.e.i} + \sum Q_{\kappa i} + Q_{ym})$$
(2.11)

Здесь  $Q_{g,y}$  - расход воздуха для проветривания выемочного участка, м<sup>3</sup>/с;  $Q_{m,g}$  - расход воздуха для проветривания тупикового забоя, м<sup>3</sup>/с;  $Q_{o,g}$  - расход воздуха для обособленно проветриваемой выработки, м<sup>3</sup>/с;  $Q_{\kappa}$  - расход воздуха для проветривания камеры, м<sup>3</sup>/с;  $Q_{ym}$  - внутренние (подземные) утечки воздуха за пределами выемочных участков, м<sup>3</sup>/с; n - количество выемочных участков (блоков) в одновременной работе; m - количество тупиковых забоев в одновременной работе.

Заключительным этапом расчета воздуха является распределение его в соответствии с потребностью (по тем потребителям, которые учтены в расчете). При этом для общешахтных выработок учитывается резерв воздуха, предусмотренный в формуле (1) коэффициентом 1,1. Коэффициент, учитываю-

щий возможное увеличение добычи 1,15, - при распределении воздуха учитывается для выработок за пределами выемочных участков. Кроме того, необходимо учитывать условие, что расход воздуха в выработках, в которых установлены ВМП, должен быть не менее 1,43  $Q_{\rm BM\Pi}$ .

Распределение воздуха по выработкам осуществляется с учетом первого закона сетей (алгебраическая сумма расходов в узлах равна нулю). При этом для выработок выемочного участка принимаются расчетные значения воздуха, по капитальным — с учетом коэффициента резерва на возможное увеличение добычи и утечек, по общешахтным (стволы, штольни) — с учетом коэффициента неравномерности распределения воздуха, т.е. расчетное общешахтное колическтво воздуха.

Расчетные значения заносятся в таблицу 3.1 для расчета депрессии (графа 11), после чего вычисляется скорость движения воздуха ( $v_i = Q_i/S_i$ ) в каждой выработке и **проверяется на соответствие требованиям ПБ (ЕПБ)**. В случае, если полученное значение скорости ниже минимально-допустимого — расход воздуха увеличивается до величины, обеспечивающей минимально необходимую скорость; если скорость превышает максимально-допустимую, то необходимо увеличить площадь сечения выработки. Если по технологическим соображениям площадь сечения выработки изменить нельзя, то необходимо предусмотреть проведение дополнительно параллельной выработки для подачи расчетного количества воздуха.

#### 2.2. Пример выполнения задания

Выполняем расчет расхода воздуха для шахты, используя схему вентиляции на рис. 3.1.

Исходные данные: схема вентиляции шахты — фланговая, участка - возвратноточная на массив; в одновременной работе 1 выемочный участок, один резервный, 1 подготовительный забой; породы кровли — глинистые сланцы, управление кровлей — полным обрушением. Расчетные расходы воздуха:  $Q_{BM\Pi} = 6.7 \text{ м}^3/c$ ;  $Q_{oq} = 10.0 \text{ м}^3/c$ .

- 1. Определяем расход воздуха для выемочного участка, выбрав коэффициент утечек через выработанное пространство с учетом типа вмещающих пород и способа управления кровлей:  $Q_{\text{в.у.}} = 10.0 \cdot 1.2 = 12.0 \text{ м}^3/c$ ;
- для проветривания резервного участка расход воздуха принимается как 0,5 от расхода для действующего участка, т.е. равно 6,0  $M^3/c$ .
- 2. Расход воздуха для проветривания подготовительного забоя принимается по результатам вышеприведенного примера расчета вентиляции тупиковой выработки (приведен в исходный данных).

Для исключения рециркуляции воздуха к всасу вентилятора необходимо подавать:  $Q_{ec} = 1,43 \cdot 6,7 = 9,6$  м  $^3/c$ ;

3. Определяем расход воздуха для обособленно проветриваемых выработок: в данном примере — это нижний горизонт, на котором необходимо проветривать магистральный штрек, с которого проводится нарезная выработка (будущий вентиляционный штрек выемочного участка) с требуемым расходом воздуха 6,7 м  $^{3}$ /с. Для проветривания магистрального штрека по минимально-допустимой скорости требуется  $Q_{\text{м.ш.}} = 0,25\cdot20 = 5,0\,$  м  $^{3}$ /с.

Т.е. по магистральному штреку должно проходить не менее 9,6 м <sup>3</sup>/с, поэтому суммарный расход воздуха для обособленно проветриваемых выработок принимаем равным нулю, т.к .для проветривания магистрального штрека достаточно того количества воздуха, которое подается по нему для проветривания подготовительного забоя.

- 4. Для проветривания общешахтных камер, согласно заданию, принимаем  $10.0 \text{ м}^{3}/\text{c}$ .
- 5. Для определения величины утечек рассчитаем общую потребность в воздухе для подземных объектов-потребителей:

$$\sum Q_{n.ob.} = 1,15(12,0+6,0)+9,6+0+10,0=40,3$$
 M<sup>3</sup>/c.

Учитывая схему вентиляции, получим:  $Q_{ym}=0,15\cdot40,3=6,0$  м  $^{3}/c$ .

6. Определяем общешахтный расход воздуха:

$$Q_{oбщ.} = 1,1(40,3+6,0) = 50,9$$
 м  $^{3}/c$ .

7. Распределение воздуха по выработкам приведено в таблице 3.1.

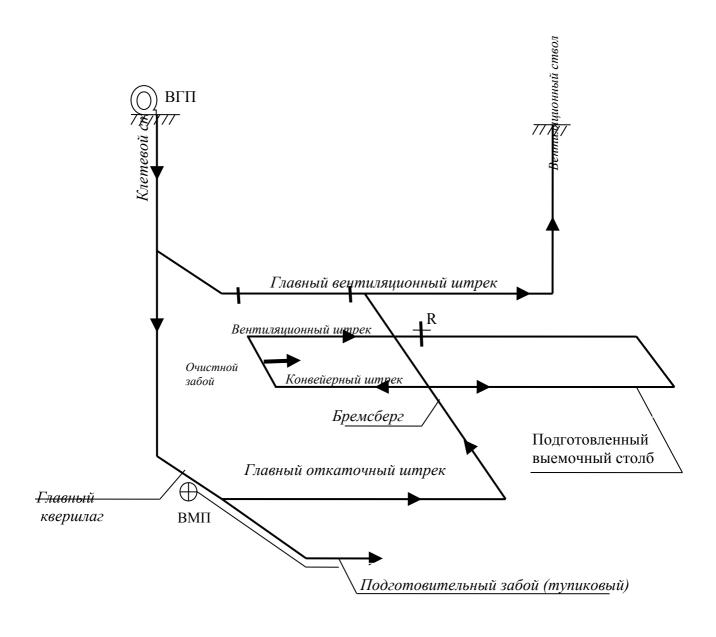
# 2.3. Варианты заданий

Таблица 2.3.

N⊵N⊵ вариантов	Расход воздуха для проветривания очистного забоя, м³/с	Породы кровли 1)	Способ управления кровлей <sup>2)</sup>	Кол-во выемочных участков в одновременной работе	в одновремен <b>ќой-рабод</b> ятотовительных выработок	Схема проветри-вания шахты <sup>з)</sup>
1.	6	1	1	1	2	1
2.	6	2	3	2	2	2
3.	8	3	1	1	2	3
4.	8	1	1	2	2	4
5.	10	2	4	1	2	1
6.	12	1	1	2	1	2
7.	10	2	2	1	1	1
8.	12	1	1	2	1	2
9.	12	2	1	1	1	2
10.	15	3	1	2	1	2

- 1) песчаники; 2 глинистые сланцы; 3 песчанистые сланцы;
- 2) номер соответствует номеру способа управления в таблице 1 (графа 1);
- 3) номер соответствует номеру схемы в таблице 2 (графа 1);

Схема вентиляции шахты представлена на рис. 2.1. Схема вентиляции выемочного участка для всех вариантов - возвратноточная с выдачей исходящей струи на массив (отработка обратным ходом).



# Рис. 2.1. Схема к расчету параметров вентиляционной системы. 2.4. Вопросы для самоконтроля

- 4.1. Основной принцип расчета воздуха для очистных и подготовительных забоев.
- 4.2. Понятие позабойного метода расчета воздуха для шахты.
- 4.3. Какие ограничивающие факторы учитываются в расчете расхода воздуха для шахты?
- 4.4. Основные методы расчета шахтных вентиляционных сетей.

4.5. Какие законы аэродинамики используются при расчете распределения воздуха по выработкам?

#### 2.5. Задание для самостоятельной работы

Изучение темы «Естественная тяга воздуха в шахтах» по учебнику [4] *с обязательным конспектированием материала*. При изучении обратить внимание на следующие вопросы:

- механизм возникновения естественной тяги, что является причиной ее возникновения;
  - факторы, влияющие на величину естественной тяги;
  - сезонные изменения естественной тяги;
  - особенности изменения естественной тяги в глубоких шахтах;
  - определение естественной тяги на практике;
  - влияние естественной тяги на работу вентилятора.

# 3. РАСЧЕТ ДЕПРЕССИИ ШАХТЫ (РУДНИКА)

#### 3.1. Методика расчета депрессии шахты

Расчет включает в себя: построение схемы аэродинамических соединений ШВС; расчет аэродинамических сопротивлений и депрессий отдельных ветвей (приводится методика расчета и таблица расчета депрессии); расчет общешахтной депрессии; расчет депрессии отрицательных регуляторов.

Расчет депрессии шахты производится на основе преобразования схемы вентиляции в схему аэродинамических соединений (каноническую схему). Для этого необходимо пронумеровать все узлы схемы вентиляции по ходу вентиляционной струи (от входа воздуха в шахту до выхода на поверхность) и самостоятельно построить каноническую схему, отображающую типы соединений ветвей шахтной вентиляционной сети (ШВС).

Пример преобразования простейшей схемы приведен ниже (рис. 3.1).

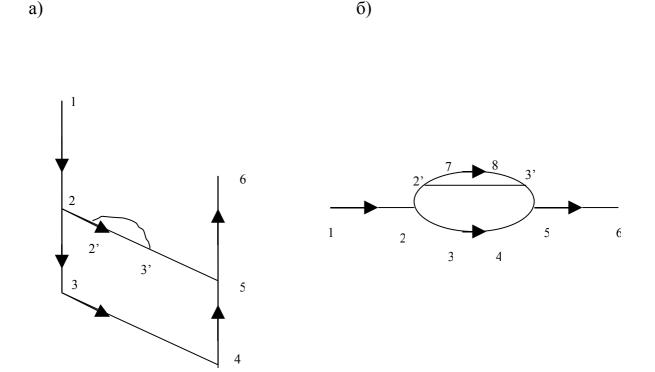


Рис.3.1. Пример преобразования схемы вентиляции (а) в схему аэродинамических соединений (б)

Следующим этапом является расчет аэродинамических сопротивлений каждой ветви и шахты в целом.

Депрессия трения выработки рассчитывается по формуле:

$$h = RQ^2, \Pi a, \tag{3.1}$$

где R – аэродинамическое сопротивление трения выработки,  $H \square c^2 / M^8$ ;

Q - количество воздуха, проходящее по выработке, м $^3$ /с.

Аэродинамическое сопротивление трения выработки R рассчитывается по формуле:

$$R = \alpha \frac{PL}{S^3} , \qquad (3.2)$$

где  $\alpha$  - коэффициент аэродинамического сопротивления,  $H\square c^2/M^4$ ;

P – периметр выработки, м;

L — длина выработки, м;

S – площадь поперечного сечения, м<sup>2</sup>.

Периметр выработки может быть определен через коэффициент формы выработки a:

$$P = a\sqrt{S} \,, \tag{3.3}$$

Форма поперечного сечения принимается для стволов круглая, для очистных выработок — прямоугольная, для остальных выработок — сводчатая. Для круглой формы коэффициент a=3,54; для прямоугольной a=4,16; для сводчатой a=3,8.

Результаты этих расчетов заносятся в таблицу расчета депрессии (таблица 3.2), где приводятся все параметры ветвей ШВС (действующих горных выработок), необходимые для расчета аэродинамических сопротивлений. Расчет аэродинамических сопротивлений производится по стандартной методике, приведенной в [3, 4, 5, 6]; там же имеются все необходимые справочные данные.

Таблица 3.1.

Бими Фента Ферма таблицы для расчета депрессии

№ <u>№</u> п/п	узлов №	Наименование выработки	Тип крепи	$\Phi \Phi \Theta M_{arepsilon}$	Коэффициент формы $k_\phi$	S <sub>i</sub> , м <sup>2</sup> Площадь сечения,	L <sub>i</sub> , мДлина,	R·10 <sup>3</sup> і,н·с²/м <sup>8</sup> Аэродинамическое сопротивление,	Расчетный расход воздуха, Q <sub>i</sub> , м <sup>3</sup> /с	h <sub>i</sub> , ПаРасчетная депрессия,	воздуха, v <sub>i</sub> , мСкорость движения	Примечания
1	2	3	4	5	6	7	8	9	11	12	13	14
1.	1-2	Клетевой ствол	ж/бет	10	3,5	35,0	700	1,7	50,9	8,8	1,45	
2.	2-2'	Магистральный штрек	ж/бет	8	3,85	20,0	600	5,2	25,0	6,6	1,25	
3.	2'-3'	Выемочный участок:	-	-	-	-	-		12,0			Депрессия выемоч-
	2'-7	конвейерный штрек	мет.	15	3,85	16,0	1000	56,4	12,0	8,1	0,75	ного участка   h <sub>в.у.</sub> =38,1 Па
	7-8	очистной забой	-	-	4,21	6,5	200	-	10,0	18,7	1,54	, , , , , , , , , , , , , , , , , , ,
	8-3'	вентиляционный штрек	мет.	15	3,85	14,0	1000	78,8	12,0	11,3	0,86	

4.	3'-5	Магистральный штрек	ж/бет	8	3,85	20,0	4000	68,9	25,0	43,0	1,25	$h_{25} = 87,7 \Pi a$
5.	2-3	Клетевой ствол	ж/бет	10	3,5	35	400	1,0	25,9	1,4	0,74	
6.	3-4	Магистральный штрек	ж/бет	8	3,85	20,0	4800	82,7	25,9	55,5	1,30	
7.	4-5	Скиповой ствол	ж/бет	12	3,5	28	400	2,0	25,9	2,8	0,93	$h_{2345} = 59,7\Pi a$
8.	5-6 Скиповой ствол		ж/бет	12	3,5	28	700	3,5	50,9	18,4	1,82	
Ит	Итого по шахте											$h_{o \delta u \mu} = 114,9 \; \Pi a$

Вместо периметра в расчетной формуле для аэродинамического сопротивления ветвей можно использовать коэффициент формы  $k_{\varphi}$ , равный отношению  $P/\sqrt{S}$ , где P — периметр, S — площадь поперечного сечения выработки в свету. Значение  $k_{\varphi}$  зависит от формы поперечного сечения выработки:

- для круглой формы  $k_{\phi} = 3.5$ ;
- для прямоугольной  $k_{\phi} = 4,21;$
- для арочной  $k_{\phi} = 3,85$ .

Таким образом, аэродинамическое сопротивление ветви может быть определено двумя способами:

$$R_{i} = \alpha_{i} \frac{P_{i} L_{i}}{S_{i}^{3}} = \alpha_{i} \frac{k_{\phi i}}{S_{i}^{2,5}} L_{i}$$
(3.4)

Исходные данные в таблицу расчета депрессии заводятся по основным магистральным направлениям, исключая дублирующиеся ветви. *Магистральным направлением* является путь движения воздуха от входа в шахту до выхода его на поверхность, проходящий через очистные забои. Так, для приведенного выше примера (рис. 3.1), где показаны только капитальные выработки, а очистные работы ведутся на обоих горизонтах, магистральных направлений — два: первое включает узлы 1-2-5-6; второе — 1-2-3-4-5-6. Пример заполнения таблицы расчета депрессии для данного примера приведен в таблице 3.

Расчет общешахтной депрессии производится для всех магистральных направлений, или, в случае сложной ШВС - по согласованию с консультантом, - для одного-двух направлений, очевидно наиболее труднопроветриваемых. Расчетное значение общешахтной депрессии принимается равным депрессии самого труднопроветриваемого направления (т.е. из всех полученных значений принимается максимальное). Так, для приведенного примера (таблица 3), депрессия рудника будет приниматься равной депрессии второ-

го направления (по более глубокому горизонту). Исходя из этого значения может быть определено общешахтное сопротивление (с учетом местных сопротивлений, составляющих в сумме примерно 10 % от общего):

$$R_{p} = 1.1 \frac{h_{p}}{Q_{o\delta uu}^{2}}$$
 (3.4)

Расчет депрессии магистрального направления производится по формуле (4), в которой:  $h_i$  — депрессия i—той ветви,  $\Pi a$ ;  $h_{\text{вх}}$  — депрессия входных устройств (например, калориферов),  $\Pi a$ ;  $h_{\text{вых}}$  — депрессия выходных устройств (например, воздухоочистительных фильтров, камер глушителей шума и др.),  $\Pi a$ ;  $k_{\text{M}}$  — коэффициент, учитывающий местные сопротивления ШВС,  $k_{\text{M}} = 0.9$ ;  $k_{\text{B}}$  — коэффициент, учитывающий потери депрессии в канале вентилятора,  $k_{\text{B}} = 0.9$ ; N — количество ветвей в магистральном направлении; i — номер ветви в магистральном направлении.

$$h_p = \frac{1}{k_B} \left( \frac{1}{k_M} \sum_{i=1}^{N} h_i + h_{BX} + h_{BMX} \right)$$
 (3.5)

Депрессия входных и выходных сопротивлений не должна превышать 200 Па.

Последним этапом этого подраздела является расчет депрессии и сопротивления регуляторов распределения воздуха отрицательного типа, которые рассчитываются только для магистральных направлений. Регуляторы устанавливаются в ветвях направлений, депрессия которых меньше, чем депрессия рудника. Их назначение — компенсация разницы этих депрессий, уравнивание депрессий всех направлений до наиболее труднопроветриваемого. Поэтому депрессия каждого из регуляторов равна разности депрессии наиболее труднопроветриваемого (принятого за депрессию шахты)  $h_p$  и данного направлений  $h_{\text{маг.н.i}}$ :

$$\Delta h_p = h_p - h_{\text{маг.н.i.}} \tag{3.6}$$

Сопротивление регулятора определяется из квадратичного закона сопротивления:

$$R_{pez} = \frac{\Delta h_p}{Q^2_{pez}} \quad , \tag{3.7}$$

где  $Q_{pez}$  - расход воздуха в выработке, в которой установлен регулятор,  ${
m M}^3/{
m c}$ .

#### 3.2. Пример выполнения задания

Исходные данные:

Схема вентиляции приведена на рис. 3.1. Исходные данные по параметрам выработок приведены в таблице 3.2. Депрессия очистного забоя 18,7 Па. Депрессия калорифера 60 Па.

- 1. Преобразование схемы вентиляции в каноническую (схему аэродинамических соединений) показано на ри.3.1.
- 2. Расчет аэродинамических сопротивлений выработок произведен по формуле 3.4 с использованием коэффициента формы, коэффициент аэродинамического сопротивления принят в соответствии с [5]. Так, для ветви 1-2 аэродинамическое сопротивление определено следующим образом:

$$R_{12} = 10 \cdot 10^{-3} \cdot 3,5 \cdot 700/7247 = 1,7 \cdot 10^{-3} H \cdot c^2/M^8$$

Расчеты аэродинамических сопротивлений остальных выработок выполнены аналогично, результаты приведены также в таблице 3.2.

По очистному забою расчет не производим (задана депрессия).

3. Суммарная депрессия выработок принимается по наиболее труднопроветриваемому магистральному направлению, включающему узлы:1-2-2'-3'-5-6, - и равна 114,9 Па..Сумма депрессий по направлению 1-2-3-4-5-6- составляет 86,9 Па.

4. Разность депрессий по этим двум направлениям должна компенсироваться отрицательным регулятором, который следует установить на магистральном штреке нижнего горизонта..

Депрессия регулятора равна: $\Delta h_p = 114.9 - 86.9 = 28.0 \ \Pi a;$ сопротивление регулятора  $R_{per} = 28.0 / (25.9)^2 = 0.04 \ H \cdot c^2 / M^8$ .

5. Расчетная депрессия шахты составляет:

$$h_p = (114,9/0,9+60)/0,9 = 208,5 \,\Pi a$$

 $h_p = (114,9/0,9+60)/0,9=208,5\ \Pi a$  3.3. Варианты заданий  $\frac{1}{2}$  Упрощенная схема вентиляции приведена  $\frac{1}{2}$  рис.3.3. Исходные данные по ощадь сечен выработкам – в таблице 3.3.

Таблица 3.2.

NeNe вариантов	Глубина верхнего гороизонта, м	Глубина нижнего горизонта,м	Площадь сечения стволов, м <sup>2</sup>	Площадь сечения квершлагов, м <sup>2</sup>	Площадь сечения главных штреков, м²	Площадь сечения бремсберга, м <sup>2</sup>	м²Пло	Площадь сечения вент. штреков, м <sup>2</sup>	Тип крепи стаолов 1)	Тип крепи капитальных выработок	Тип крепи участковых выработок <sup>2)</sup>
1.	400	700	28	15	12	10	10	8	1	металл	1
2.	500	700	28	15	12	10	10	8	2	бетон	1
3.	600	800	28	18	15	10	10	10	1	анкерная	1
4.	450	600	35	18	15	10	10	10	2	анкерная	1
5.	550	700	35	18	16	14	12	10	1	металл	1
6.	650	750	35	18	16	14	12	10	2	анкерная	2
7.	700	850	42	20	18	16	12	12	1	бетон	2
8.	750	900	42	20	18	16	14	12	2	металл	2
9.	800	1000	42	22	20	16	14	14	1	анкерная	2
10.	850	1100	48	22	20	18	16	14	2	бетон	2

- 1- бетонная, 2 тюбинговая;
- 2) 1- металлическая из спецпрофиля (СВП), 2 анкерная.

#### Для всех вариантов:

- длина квершлагов 500 м, длина главных штреков 1500 м.
- длина выемочных штреков (откаточного и вентиляционного) 1000 м;
- площадь сечения монтажной камеры принять равной площади сечения вентиляционного штрека;
- длина очистного забоя и монтажной камеры 200 м;
- депрессию очистного забоя принять равной 25 Па;

#### 3.4. Вопросы для самоконтроля (ответы в письменной форме).

- 3.4.1. Принцип расчета депрессии шахты.
- 3.4.2. Понятие наиболее труднопроветриваемого магистрального направления.
- 3.4.3. Расчет депрессии сложных параллельных соединений.
- 3. 4.4. Расчет депрессии последовательных соединений.
- 3.4.5. Понятие отрицательного регулирования.
- 3.4.6. Расчет отрицательного регулятора.

### 3.5. Задание для самостоятельной работы

Изучение темы «Вентиляционные сооружения» по учебнику [4] c обязательным конспектированием материала. При изучении обратить внимание на следующие вопросы:

- назначение вентиляционных сооружений;
- виды и конструкции вентиляционных сооружений;
- аэродинамические сопротивления вентиляционных сооружений;
- места установки вентиляционных сооружений.

#### 4. ВЫБОР ВЕНТИЛЯТОРА ГЛАВНОГО ПРОВЕТРИВАНИЯ

Вентилятор главного проветривания выбирается графически путем наложения аэродинамической характеристики вентиляционной сети на характеристику вентилятора. При этом расход воздуха, подаваемого вентилятором, следует определять с учетом внешних утечек, которые зависят от места установки вентилятора (табл. 4.1).

Таблица 4.1. Значение коэффициента внешних утечек воздуха

Место установки вентилятора	Значение коэффициента внешних утечек воздуха $k_{\rm ут.вн.}$ при расходе воздуха, проходящего по стволу (шурфу), м <sup>3</sup> /мин							
	до 1500	1500-4000	4000-6000	более 6000				
Вентиляционные стволы (шурфы), не используемые для подъема	1,2	1,10	1,10	1,10				
Шурфы, используемые для спуска людей или материалов	1,25	1,20	1,15	-				
Шурфы с передвижными венти- ляционными установками	1,30	1,20	-	-				

Утечки воздуха через устья наклонных стволов при наличии надшахтных зданий принимаются равными утечкам через надшахтные здания клетевых стволов, а при отсутствии надшахтных зданий рассчитываются как для шлюзов. Общие внешние утечки равны сумме утечек через надшахтные здания и вентиляционный канал.

При установке вентиляторов на вентиляционных стволах, не используемых для подъема, и на шурфах все внешние утечки воздуха учитываются коэффициентом внешних утечек  $k_{\text{ут.вн.}}$ , значения которого приведены в табл. 4.1.

При работе вентиляторов на нагнетание значения этого коэффициента должны быть увеличены на 0,15, а при наличии резервных вентиляторов на 0,17.

Для ориентировочного определения подачи вентиляционных установок коэффициент, учитывающий утечки воздуха через надшахтные сооружения и каналы вентиляторов, следует принимать равным: для случаев установки вентиляторов на скиповом стволе 1,25; на клетьевом — 1,2; на стволах и шурфах, не используемых для подъема — 1,1; на шурфах, используемых для подъема и спуска материалов — 1,3.

При выборе ВГП необходимо учитывать возможность изменения характеристики сети или требуемых расходов и депрессий в течение срока службы шахты. Точки рабочих режимов ( $h_p - Q_{B\Gamma\Pi}$ ) должны лежать в области промышленного использования вентилятора.

Характеристики шахтных вентиляторов и области их промышленного использования приведены в [3, 4, 5, 6], а также в технических паспортах машин.

В дипломном проекте, по согласованию с консультантом, можно выбирать ВГП по полученным значениям общешахтного расхода воздуха и депрессии, Эта точка должна лежать в области промышленного использования вентилятора.

#### 4.2. Пример расчета

Расчет выполняем для условий рассмотренных выше примеров при условии установки вентилятора на клетевом стволе.

Подача вентилятора в этих условиях составит:

$$Q_{B\Gamma\Pi} = 1,25.50,9 = 63,6 \text{ м}^3/\text{с}$$
 или 3700 м $^3/\text{мин}$ .

Расчетная депрессия вентилятора определяется с учетом местных сопротивлений конструкции вентиляторной установки (10-15 %):

$$h_{BIII} = 1, 1.208, 5 = 220 \Pi a$$

По данным параметрам с использованием технических паспортов выбираем вентилятор ВЦ-25М.

#### 4.3. Варианты заданий

Для вариантов 1-5 место установки ВГП – на клетевом стволе. Для вариантов 5-10 место установки ВГП – на скиповом стволе

#### 4.4. Вопросы для самоконтроля (ответы в письменной форме).

- 4.4.1. Понятие способа и схемы проветривания шахты.
- 4.4.2. Область применения основных схем вентиляции шахт.
- 4.4.3. Область применения основных способов вентиляции шахт.
- 4.4.4. Основной принцип выбора ВГП.

#### 4.5. Задание для самостоятельной работы

Изучение темы «Шахтные вентиляторы» по учебнику [4] *с обяза- тельным конспектированием материала*. При изучении обратить внимание на следующие вопросы:

- типы шахтных вентиляторов;
- область применения вентиляторов различных конструкций;
- особенности характеристик вентиляторов, понятие области промышленного использования.

# СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Правила безопасности в угольных шахтах. 2003.
- 2. ЕПБ при разработке рудных, нерудных и россыпных месторождений подземным способом. 2002.
- 3. Руководство по проектированию вентиляции угольных шахт. Макеев-ка-Донбасс, 1989.
- 4. Ушаков К.З., Бурчаков А.С., Пучков Л.А., Медведев И.И. Аэрология горных предприятий / Учебник для вузов. М.: «Недра», 1987.
- 5. Аэрология горных предприятий (при их строительстве) / Ушаков К.З., Кирин Б.Ф. и др. Учебник для вузов. Липецк, 2000.
- 6. Рудничная вентиляция: Справочник под ред. К.З. Ушакова. М.: Недра, 1988.

# Приложение 1

# МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

# УЧЕБНАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ «Вентиляция шахт»

для подготовки специалистов по направлению 550600 «Горное дело»,

**1. Цели и задачи дисциплины:** дать студенту знания о вентиляции подземных горных предприятий, ее роли в обеспечении безопасности горных работ и организации технологических процессов; выработать умение и навыки проектирования систем вентиляции.

#### 2. Требования к уровню освоения содержания дисциплин.

#### Получаемые знания:

Состав и свойства шахтной атмосферы. Основные законы движения воздуха в шахтах. Аэродинамическое сопротивление горных выработок. Шахтные вентиляционные сети. Работа вентиляторов на сеть. Процессы переноса в шахтах. Инженерное обеспечение вентиляции шахт. Шахта как вентиляционная система. Устройство контрольно-измерительной аппаратуры.

#### Получаемые умения:

Расчет основных параметров вентиляции горных выработок, участков и шахты в целом. Анализ работы вентилятора на шахтную вентиляционную сеть. Регулирование распределения воздуха в шахтных вентиляционных сетях. Анализ условий переноса газа, пыли и тепла в горных выработках. Измерение скорости движения воздуха в горных выработках, содержания газов в воздухе, климатических параметров воздуха, депрессии вентиляционных струй.

#### Получаемые навыки:

Работа с контрольно-измерительной аппаратурой. Работа с Правилами безопасности. Проектирование вентиляции участков и шахты в целом.

# 3. Объем дисциплины и виды учебной работы:

Вид учебной работы	Всего часов	Семестры
Общая трудоемкость дисциплины	<u>100</u>	<u>9</u>
Аудиторные занятия	<u>51</u>	9
<u>Лекции</u>	<u>34</u>	<u>9</u>
Практические занятия (ПЗ)	_	<u>9</u>
Семинары (С)	_	
Лабораторные работы (ЛР)	<u>17</u>	<u>9</u>
и (или) другие виды аудиторных занятий	_	
Самостоятельная работа	<u>49</u>	9
Курсовой проект (работа)	=	

Расчетно-графические работы	<u>=</u>	
Реферат и (или) другие виды	<u>=</u>	
самостоятельной работы	<u>=</u>	
Вид итогового контроля (зачет, экзамен)	<u>экзамен</u>	9

- 4. Содержание дисциплины.
- 4.1. Тематический план.

№ п/		Лекции	<u>CP</u>	<u>ЛР</u>
П	<u>Разделы дисциплин</u>			
	Введение			
<u>I.</u>	ШАХТНАЯ АТМОСФЕРА			
<u>1.</u>	<u>Шахтный воздух</u>	<u>±</u>	<u>+</u>	<u>+</u>
<u>2.</u>	<u>Шахтная пыль</u>	<u>+</u>		<u>+</u>
<u>3.</u>	Тепловой режим шахт	<u>±</u>	<u>±</u>	<u>+</u>
П.	<u>ШАХТНАЯ АЭРОМЕХАНИКА</u>			
<u>4.</u>	Основные понятия и законы шахтной аэромеханики	<u>±</u>		<u>+</u>
<u>5.</u>	Аэродинамическое сопротивление горных выработок	<u>+</u>		<u>+</u>
<u>6.</u>	Фильтрационные течения в шахтах	<u>+</u>		
<u>7.</u>	<b>Шахтные вентиляционные сети (ШВС)</b>	<u>+</u>	<u>+</u>	<u>+</u>
<u>8.</u>	<u>Источники движения воздуха в шахте.</u> <u>Естественная тяга</u>	<u>+</u>	<u>+</u>	
<u>9.</u>	<u>Работа вентиляторов на шахтную</u> вентиляционную сеть	<u>+</u>	<u>+</u>	<u>+</u>
<u>10.</u>	Регулирование распределение воздуха в шахтной вентиляционной сети	<u>+</u>		<u>+</u>
Ш.	ПРОЦЕССЫ ПЕРЕНОСА В ШАХТАХ			
<u>11.</u>	Общие сведения	<u>+</u>		
<u>12.</u>	Основные законы шахтной газовой динамики	<u>+</u>		
<u>13.</u>	Процессы газовыделения в шахтах	<u>±</u>		
<u>14.</u>	Процессы газопереноса в выработках	<u>+</u>		
<u>15.</u>	Основы шахтной пылевой динамики	<u>+</u>		<u>+</u>
IV.	ВЕНТИЛЯЦИЯ ШАХТ			
<u>16.</u>	Вентиляция выемочных участков	<u>±</u>		<u>±</u>
<u>17.</u>	Вентиляция тупиковых выработок при их проведении	<u>+</u>	<u>+</u>	<u>+</u>
<u>18.</u>	Способы и схемы вентиляции шахт	<u>+</u>		
<u>19.</u>	Утечки воздуха в шахтах	<u>+</u>	<u>+</u>	

<u>20.</u>	Вентиляционные сооружения на шахтах	<u>+</u>	<u>+</u>	
<u>21.</u>	Контроль вентиляции шахт. Вентиляционная служба	<u>+</u>	<u>+</u>	
<u>22.</u>	Управление вентиляционными режимами при авариях	<u>+</u>		
<u>V.</u>	<u>ШАХТА КАК ВЕНТИЛЯЦИОННАЯ СИСТЕМА</u>			
<u>23.</u>	Управление вентиляцией шахты	<u>±</u>		
<u>24.</u>	<u>Надежность и эффективность функционирования</u> <u>шахтной вентиляционной системы</u>	<u>+</u>		
<u>25.</u>	<u>Проектирование шахтных вентиляционных</u> <u>систем</u>	<u>+</u>	<u>+</u>	<u>+</u>

#### 4.2. Содержание разделов дисциплин:

#### ВВЕДЕНИЕ

Определение аэрологии горных предприятий как науки. Ее значение. Исторический обзор. Характеристика современных шахтных вентиляционных систем. Основные достижения аэрологии горных предприятий. Содержание дисциплины. Связь со смежными науками.

#### І. ШАХТНАЯ АТМОСФЕРА

#### 1. Шахтный воздух

Атмосферный воздух. Изменение состава атмосферного воздуха при его движении по горным выработкам. Газообильность шахты. Составные части шахтного воздуха. Способы измерения содержания газов в воздухе.

Метан. Физико-химические свойства. Происхождение и виды нахождения в горных породах. Метаноносность и метаноемкость горных пород. Виды выделения в шахтах. Газовый баланс шахты. Предельно допустимые содержания метана в шахтах. Меры борьбы с метаном: вентиляция, дегазация.

#### 2 Шахтная пыль

Общие сведения. Горючие и взрывчатые свойства. Факторы, влияющие на взрывчатость угольной пыли. Особенности взрывов угольной пыли в шахтах. Меры борьбы со взрывами угольной пыли.

Взрывчатость серной и сульфидной пыли. Способы измерений запыленности воздуха.

#### 3. Тепловой режим шахт

Микроклимат шахт. Термовлажностные параметры шахтного воздуха. Факторы, определяющие тепловой режим шахт. Тепловой баланс шахт. Кондиционирование шахтного воздуха.

#### П. ШАХТНАЯ АЭРОМЕХАНИКА

#### 4. Основные понятия и законы шахтной аэромеханики

Виды давления в движущемся воздухе. Депрессия. Законы сохранения. Режимы движения воздуха в шахтах. Типы воздушных потоков в горных выработках и их основные характеристики. Закон сопротивления.

#### 5. Аэродинамическое сопротивление горных выработок

Природа и виды аэродинамического сопротивления. Сопротивление трения. Местное сопротивление. Лобовое сопротивление. Общие закономерности проявления аэродинамического сопротивления. Единицы измерения. Способы снижения аэродинамического сопротивления.

#### 6. Фильтрационные течения в шахтах

Определение фильтрационного течения. Его основные характеристики. Виды и места фильтрационных течений в шахтах. Законы фильтрационного течения. Значение фильтрационного движения воздуха в вентиляции шахт.

#### 7. Шахтные вентиляционные сети (ШВС)

Классификация ШВС. Основные законы движения воздуха в ШВС. Методы расчета естественного воздухораспределения и регулирования в ШВС. Компьютерное решение ШВС. Электрическое моделирование ШВС.

### 8. Источники движения воздуха в шахте

Принцип создания движения воздуха. Шахтные вентиляторы. Естественная тяга воздуха в шахтах. Второстепенные источники движения воздуха (эжекторы, капеж, гидромониторные струи и гидротранспорт).

# 9. Работа вентиляторов на шахтную вентиляционную сеть

Работа одного вентилятора. Совместная работа нескольких вентиляторов. Совместная работа вентилятора и естественной тяги. Работа подземных вспомогательных вентиляторов.

# 10. Регулирование распределения воздуха в шахтной вентиляционной сети

Способы регулирования. Изменение режима работы главного вентилятора. Увеличение и уменьшение аэродинамического сопротивления выработок. Регулирование с помощью вспомогательных вентиляторов. Регулирование в сложных вентиляционных сетях. Технические средства регулирования.

#### 11. Общие сведения,

Термины и определения. Условия, определяющие перенос вредностей: условия поступления вредностей в поток, свойства переносимых субстанций, режим движения воздуха. Виды переноса.

#### 12. Основные законы шахтной газовой динамики

Физические характеристики шахтных газодинамических процессов. Закон сохранения массы. Уравнения конвективной диффузии. Стационарные и нестационарные газодинамические процессы. Диффузия активных газов. Слоевые скопления газов.

#### 13. Процессы газовыделения в шахтах

Газовыделение с обнаженной поверхности горного массива. Газовыделение из отбитой горной массы. Газовыделение при взрывных работах. Газовыделение из выработанного пространства. Газовыделение при работе двигателей внутреннего сгорания.

#### 14. Процессы газопереноса в выработках

Газоперенос в лавах. Газоперенос в вентиляционных штреках. Газоперенос в выработанном пространстве. Переходные газодинамические процессы. Управление метановыделением в горные выработки. Процессы газопереноса в тупиковых выработках. Газоперенос при вентиляции выработки с рециркуляцией. Процессы газопереноса в камерах.

#### 15. Основы шахтной пылевой динамики

Основные понятия и определения. Процесс осаждения пыли. Турбулентная диффузия пыли. Процесс сдувания осевшей пыли. Влияние скорости воздушного потока на содержание пыли в воздухе.

#### IV. ВЕНТИЛЯЦИЯ ШАХТ

#### 16. Вентиляция выемочных участков

Основные определения. Требования к схемам вентиляции. Схемы вентиляции выемочных участков угольных шахт. Схемы вентиляции очистных блоков рудных шахт.

#### 17. Вентиляция тупиковых выработок при их проведении

Особенности вентиляции тупиковых выработок. Способы вентиляции. Вентиляция за счет общешахтной депрессии. Вентиляция с помощью вентиляторов местного проветривания. Вентиляция выработок большой длины. Вентиляция тупиковых камер. Вентиляционное оборудование. Проектирование вентиляции тупиковых выработок.

#### 18. Способы и схемы вентиляции шахт

Способы вентиляции шахт. Нагнетательный способ вентиляции. Всасывающий способ вентиляции. Комбинированный способ вентиляции. Области применения.

Схемы вентиляции шахт. Центральная схема вентиляции. Фланговая схема вентиляции. Секционная схема вентиляции. Области применения.

#### 19. Утечки воздуха в шахтах

Значение утечек. Определения и классификация. Утечки через вентиляционные сооружения. Утечки через выработанное пространство. Мероприятия по уменьшению утечек.

#### 20. Вентиляционные сооружения в шахтах

Назначение вентиляционных сооружений. Вентиляционные перемычки. Вентиляционные двери и шлюзы. Кроссинги. Замерные станции. Герметичные надшахтные здания. Вентиляторные установки на поверхности шахт.

#### 21. Контроль вентиляции шахт. Вентиляционная служба

Требования к контролю вентиляции шахты. Контроль скорости движения и расхода воздуха. Контроль состава шахтной атмосферы. Контроль температуры, влажности и давления воздуха. Организация вентиляционной службы на шахтах.

#### 22. Управление вентиляционными режимами при авариях

Требования к вентиляционным режимам при авариях. Их виды. Выбор вентиляционного режима при пожаре. Устойчивость и стабилизация вентиляции при пожаре. Вентиляционный режим при наличии изолированных пожарных участков. Вентиляция при внезапных выбросах горной породы и газа.

#### V. ШАХТА КАК ВЕНТИЛЯЦИОННАЯ СИСТЕМА

# 23. Управление вентиляцией шахты

Задачи и значение управления вентиляцией шахты. Способы и средства управления. Управление вентиляцией при нормальной работе шахты. Управление вентиляцией шахты в аварийных ситуациях. Автоматизация управления вентиляцией: информационное обеспечение, алгоритмы, техническое обеспечение системы автоматического управления вентиляцией, экономическая эффективность.

# 24. Надежность и эффективность функционирования шахтной вентиляционной системы

Основные понятия и определения. Критерии и показатели. Факторы, определяющие стохастическую динамику шахтной вентиляционной системы. Принципы и методы моделирования процесса функционирования шахтной вентиляционной системы и прогноза ее показателей. Синтез

высоконадежных и эффективных шахтных вентиляционных систем. Экономическая эффективность функционирования шахтной вентиляционной системы.

#### 25. Проектирование шахтных вентиляционных систем

Общие требования к проектированию шахтных вентиляционных систем. Этапы проектирования. Выбор схемы вентиляции. Прогноз газообильности шахты. Проверка нагрузки на лаву по газовому фактору. Определение расхода воздуха для вентиляции шахты. Распределение воздуха по выработкам и проверка поперечных сечений выработок по допустимым скоростям движения воздуха. Проверка устойчивости движения воздуха в выработках. Расчет депрессии шахты. Выбор способа вентиляции шахты. Выбор главного вентилятора. Расчет экономических показателей вентиляции шахты.

#### 5. Лабораторные занятия.

#### 5.1. Лабораторный практикум.

<u>No</u> _	<u> Номера</u>	<u>Наименование лабораторных работ</u>
<u>n/n</u>	<u>разделов</u>	
	<u>дисципли</u>	
	<u>H</u>	
<u>1.</u>	<u>1, 40</u>	Анализ содержания газов в воздухе
<u>2.</u>	<u>3, 37</u>	Определение климатических параметров атмосферы
<u>3.</u>	4, 43	Измерение скорости движения воздуха и расчет расхода
		<u>воздуха</u>
<u>4.</u>	<u>4, 38</u>	Исследование параметров ограниченных и свободных струй
<u>5.</u>	<u>4</u>	Измерение и расчет депрессии выработок
<u>6.</u>	<u>5</u>	Исследование аэродинамических сопротивлений выработок
<u>7.</u>	<u>12</u>	Исследование процессов газопереноса в выработках
<u>8.</u>	<u>2, 17</u>	Исследование процессов переноса пыли в выработках

#### 6. Учебно-методическое обеспечение дисциплин:

# 6.1. Рекомендуемая литература.

#### а) основная литература:

- 1. Ушаков К.З., Бурчаков А.С., Пучков Л.А., Медведев И.И. Аэрология горных предприятий. М., «Недра», 1987.
- 2. Ушаков К.З., Михайлов В.А. Аэрология карьеров. М., «Недра», 1985.

3. Кирин Б.Ф., Диколенко Е.Я., Ушаков К.З. Аэрология подземных сооружений (при строительстве). Липецк: Липецкое издательство, 2000.

#### б) дополнительная литература:

- 1. Правила безопасности в угольных шахтах. М., 1995.
- 2. Единые правила безопасности при разработке рудных, нерудных и россыпных месторождений полезных ископаемых подземным способом. М., 1996.
- 3. Единые правила безопасности при разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом. М., 1992.
- 4. Правила безопасности при строительстве метрополитенов и подземных сооружений. М., 1994.
- 5. СНиП Ш-4-80. Гл. 4 «Техника безопасности в строительстве». М., 1981.
- 6. Бересневич П.В., Михайлов В.А., Филатов С.С. Аэрология карьеров. Справочник. М., Недра, 1990.

#### 6.2. Средства обеспечения освоения дисциплин.

Имеются следующие расчетные компьютерные программы:

- компьютерное проектирование схемы вентиляции рудника (шахты), проектирование развития вентиляционной сети угольной шахты;
- создание компьютерной модели вентиляционной сети шахты, проведение расчетов воздухораспределения в сети горных выработок;
- расчет потребления электроэнергии на проветривание шахты при различных режимах работы вентиляторов;
- моделирование пожаров в угольных шахтах, расчеты устойчивости;
- расчет депрессии шахты по направлениям;
- компьютерная программа по изучению Правил безопасности в угольных шахтах (гл. Ш. Проветривание подземных выработок и пылегазовый режим).

# 7. Материально-техническое обеспечение дисциплин:

Имеется специализированная лаборатория «Аэрология горных предприятий», оснащенная следующими приборами: микроманометрами ММН, анемометрами АСО-3, МС-13, АПР-2; шахтными интерферометрами ШИ-10, ШИ-11, анализаторами метана СШ-2, сигнализаторами метана СМС-1, химическими газоопределителями ГХ-М. В лаборатории используются центробежные и осевые вентиляторные установки, модели

выработок с различными видами их аэродинамических сопротивлений, модель шахтной вентиляционной сети, модель карьера.

#### 8. Методические рекомендации по организации изучения дисциплин:

Изучение дисциплин должно базироваться на знании их теоретических основ: физических законов, описывающих процессы выделения вредностей и переноса их воздушными потоками в системе подземных горных выработок и карьеров. Необходимо обращать внимание студентов на специфику рудничной аэрогазодинамики, особенности проявления общих физических законов в условиях горного предприятия.

Важнейшей задачей дисциплин является формирование у студентов понимания взаимосвязи характера протекания процессов тепломассопереноса в атмосфере горных предприятий с технологией ведения работ, влияния технологической схемы отработки месторождения на эффективность проветривания выработок. Кроме того, следует отмечать роль вентиляции в обеспечении безопасности ведения горных работ.

Программа составлена в соответствии с Государственным образовательным стандартом высшего профессионального образования по направлению 650600 «Горное дело».

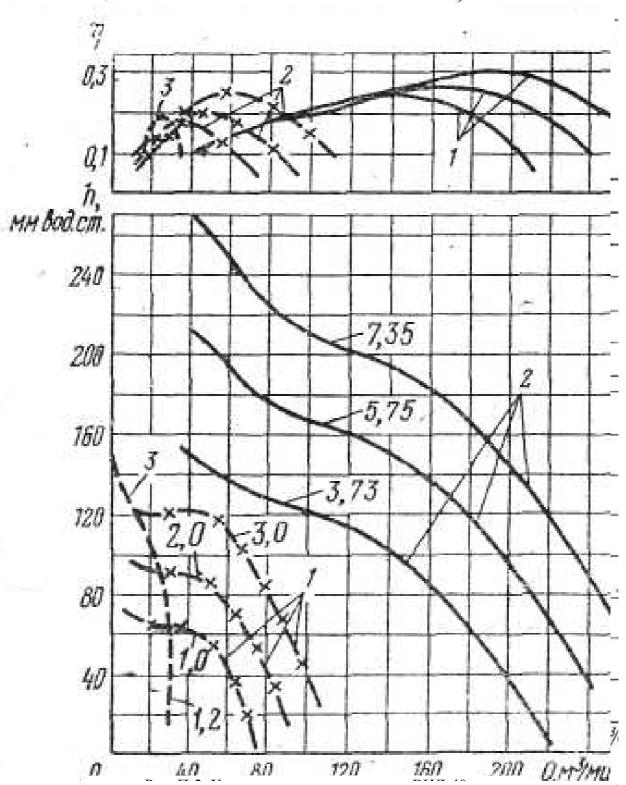


Рис. П-5. Характеристики вентиляторов: a – Вм-8м;  $\delta$  - ВМ-12М с одним (сплошные линии) и двумя (пунктирные линии) вентиляторами в установке

Рис. П-6. Характеристика пневматических вентиляторов:  $1 - BM\Pi$ -3м;  $2 - BM\Pi$ -5; 3 - BKM-200A.

На графиках цифрами указан расход сжатого воздуха при давлении  $50~{\rm H/cm^2}$ 

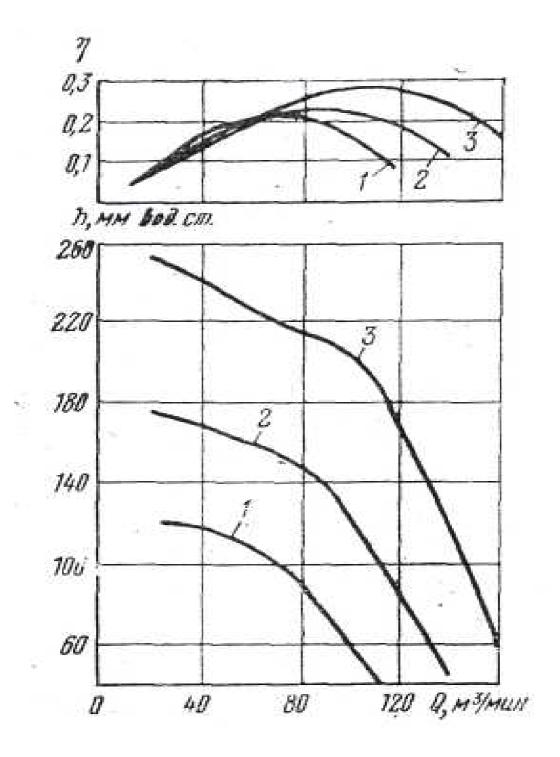


Рис. П-7. Характеристика вентилятора ВМП-4, для расхода сжатого воздуха: 1 - 2,6 м $^3$ /мин; 2 - 4,0 м $^3$ /мин; 3 - 5,0 м $^3$ /мин;

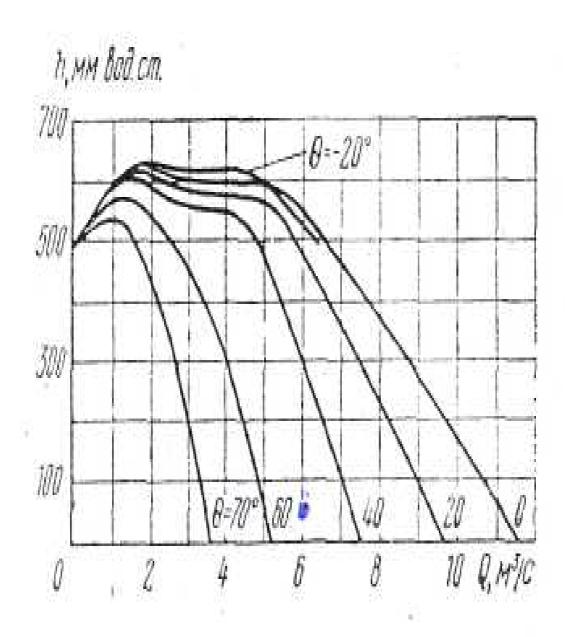
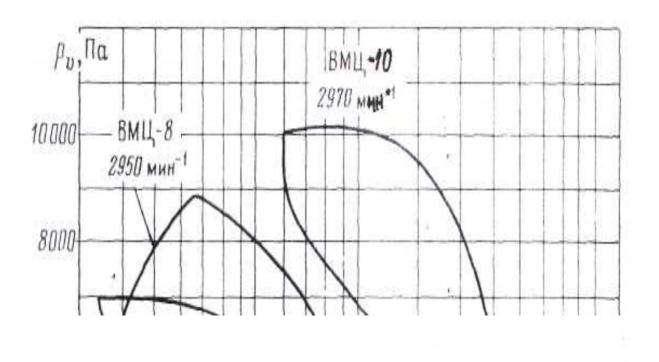
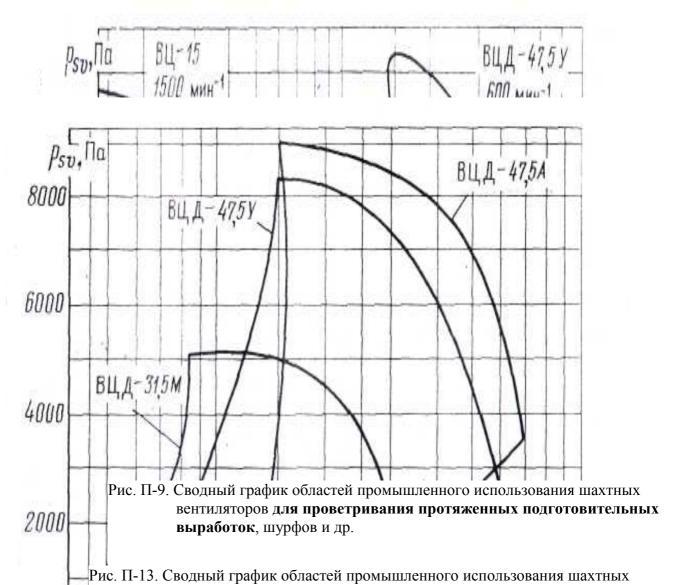


Рис. П-8. Характеристика вентилятора ВЦО-0,6





электроприводом

центробежных вентиляторов главного проветривания с регулируемым

68