

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего профессионального образования  
«Кузбасский государственный технический университет  
имени Т.Ф. Горбачева»

Горный институт

Кафедра строительства подземных сооружений и шахт

**В. В. Першин М. Д. Войтов**  
**А. Б. Сабанцев П. М. Будников**

**РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ВЕНТИЛЯЦИИ  
ДЛЯ ПРОВЕТРИВАНИЯ ТУПИКОВОЙ  
ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ВЫРАБОТКИ**

**Методические указания к расчетно-графической работе №4**

Рекомендовано учебно-методической комиссией  
специальности 130400.65 «Горное дело»  
в качестве электронного издания  
для самостоятельной работы

КЕМЕРОВО 2013

## Рецензенты:

Копытов А. И. – д.т.н., профессор кафедры строительства подземных сооружений и шахт.

Дементьев А. В. – к.т.н., доцент кафедры строительства подземных сооружений и шахт.

Першин В. В. – председатель учебно-методической комиссии специальности 130400.65 «Горное дело», специализации 130405.65 «Шахтное и подземное строительство»

**Першин Владимир Викторович. Расчет параметров вентиляции для проветривания тупиковой горизонтальной выработки.** [Электронный ресурс]: методические указания к расчетно-графической работе №4 по дисциплине «Основы горного дела (строительная геотехнология)» для студентов специальности 130400.65 «Горное дело» специализации 130401.65 «Подземная разработка пластовых месторождений», 130404.65 «Маркшейдерское дело», 130405.65 «Шахтное и подземное строительство», 130412.65 «Технологическая безопасность и горно-спасательное дело» очной формы обучения / В. В. Першин, М. Д. Войтов, А. Б. Сабанцев, П. М. Будников. – Электрон. дан. – Кемерово : КузГТУ, 2013. – Систем. требования: Pentium IV; ОЗУ 32 Мб; Windows XP; мышь. – Загл. с экрана.

Включает краткое ознакомление с расчетом параметров вентиляции при проведении горизонтальных и наклонных горных выработок, как буровзрывным способом, так и комбайновым, а также рассмотрен пример расчета параметров вентиляции горизонтальных и наклонных горных выработок в период их строительства, а также список учебной литературы.

© КузГТУ  
© Першин В. В.  
© Войтов М. Д.  
© Сабанцев А. Б.  
© Будников М. П.

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Дисциплина «Основы горного дела (строительная геотехнология)» относится к базовой части профессионального цикла и опирается на знания геологии, начертательной геометрии, инженерной графики, физики, математики.

Целями изучения дисциплины «Основы горного дела (строительная геотехнология)» являются формирование у студентов представления о будущей профессии и получении базовых знаний об основных принципах строительства горных выработок, а также горнотехнических зданий и сооружений.

Дисциплина «Основы горного дела (строительная геотехнология)» формирует теоретические знания, практические навыки, вырабатывает компетенции, которые дают возможность выполнять следующие виды профессиональной деятельности: производственно-технологическую; проектную; научно-исследовательскую; организационно-управленческую.

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

✓ использование нормативных и инструктивных документов в своей деятельности, а именно: знать отраслевые нормативные и инструктивные документы; уметь: ориентироваться в научно-технической литературе освещающей вопросы строительной геотехнологии; владеть: отраслевыми правилами безопасности (ПБ), сводами правил (СП), строительными нормами и правилами (СНиП), а также техническим регламентом о безопасности зданий и сооружений;

✓ владение основными принципами проектирования производства и организации процессов строительной геотехнологии, а именно: знать классификацию способов и схем строительства горных выработок; процессы и технологии горнопроходческих работ; здания и сооружения на поверхности шахт; уметь выбирать и рассчитывать основные параметры процессов строительной геотехнологии; владеть основными принципами технологии строительства и эксплуатации подземных и наземных объектов.

## 1. СПОСОБЫ ПРОВЕТРИВАНИЯ ТУПИКОВЫХ ВЫРАБОТОК

Основными способами проветривания тупиковых горизонтальных и наклонных выработок являются нагнетательный, нагнетательно-всасывающий с применением пылеотсасывающей установки, комбинированный с использованием параллельной выработки и всасывающий.

Наиболее часто применяется, благодаря простоте и надежности, нагнетательный способ проветривания.

При проведении выработок проходческими комбайнами рекомендуется применять нагнетательно-всасывающий способ с использованием пылеотсасывающих установок. Пылеотсасывающая установка располагается на расстоянии 30–50 м от забоя выработки и включается только при работе комбайна.

Выработки, проводимые по мощным и средней мощности пластам, можно проветривать комбинированным способом. В этом случае основная часть выработки проветривается за счет общешахтной депрессии с использованием для отвода исходящей струи специально проводимой параллельной выработки, сбиваемой с основной выработкой, а тупики небольшой длины – с помощью вентиляторов местного проветривания (далее по тексту – ВМП).

При незначительной глубине залегания выработки для ее проветривания могут быть использованы скважины диаметром от 200 до 1000 мм. Последние бурят с поверхности через определенное расстояние и используют для отвода исходящей струи за счет общешахтной депрессии при нагнетательном способе проветривания. Тупиковая часть выработки проветривается с помощью ВМП.

Всасывающий способ проветривания рекомендуется применять на негазовых шахтах. Этот способ может применяться в газовых шахтах при использовании ВМП, допущенных для отсоса метановоздушных смесей, а такие эжекторов.

На газовых шахтах ВМП, работающие последовательно на один трубопровод, должны устанавливаться каскадом не более двух. Рассредоточенное расположение ВМП допускается на негазовых шахтах. При этом между вентиляторами должен быть про-

ложен жесткий трубопровод, а все вентиляторы заблокированы, чтобы в случае выключения одного из них автоматически выключались все последующие.

Для повышения надежности проветривания выработок в газовых шахтах они должны быть оборудованы резервными ВМП в соответствии с требованиями [2] (далее по тексту – ПБ).

## 2. РАСЧЕТ РАСХОДА ВОЗДУХА ДЛЯ ПРОВЕТРИВАНИЯ ОДИНОЧНЫХ ТУПИКОВЫХ ВЫРАБОТОК

Расход воздуха, необходимый для проветривания тупиковых горизонтальных и наклонных выработок, рассчитывается по выделению метана или углекислого газа, числу людей, средней минимальной скорости воздуха в выработке и минимальной скорости воздуха в призабойном пространстве выработки с учетом температуры, по газам, образующимся при взрывных работах.

Для тупиковых выработок протяженностью до 300 м расчет выполняется сразу для максимальной длины. Для тупиковых выработок большей протяженности допускается расчет на отдельные периоды для промежуточных значений длины 300, 600, 900 м и т.д., включая максимальную длину.

Расчет расхода воздуха производится для призабойного пространства ( $Q_{з.п}$ ) и в целом для выработки ( $Q_{п}$ ).

Расчет расхода воздуха по выделению метана (углекислого газа) производится по формуле

$$Q_{з.п} = \frac{100I_{з.п}}{C - C_0}, \quad (1)$$

где  $Q_{з.п}$  – расход воздуха, который необходимо подавать в призабойное пространство тупиковой выработки, м<sup>3</sup>/мин;  $I_{з.п}$  – выделение метана (углекислого газа) на призабойном участке, м<sup>3</sup>/мин;  $C$  – допустимая, согласно ПБ, концентрация метана (углекислого газа) в исходящей из выработки вентиляционной струе, %;  $C_0$  – концентрация метана (углекислого газа) в струе воздуха, поступающего в тупиковую выработку, %.

Расход воздуха по минимальной скорости движения воздушной струи в выработке рассчитывается по формуле

$$Q_{з.п} = 60S_{св}V_{\min}, \quad (2)$$

где  $S_{св}$  – площадь поперечного сечения выработки в свету,  $m^2$ ;  $V_{\min}$  – минимально допустимая, согласно ПБ, скорость движения воздуха в тупиковой выработке,  $m/c$ .

Расход воздуха по минимальной скорости в призабойном пространстве тупиковой выработки в зависимости от температуры определяется по формуле

$$Q_{з.п} = 20S_{св}V_{з.\min}, \quad (3)$$

где  $V_{з.\min}$  – минимально допустимая, согласно ПБ, скорость воздуха в призабойном пространстве выработки в зависимости от температуры и влажности,  $m/c$ .

Расход воздуха по наибольшему числу людей, одновременно находящихся в выработке, производится по формуле

$$Q_{з.п} = 6n, \quad (4)$$

где  $n$  – наибольшее число людей, одновременно находящихся в забое выработки, чел.

Расчет расхода воздуха для проветривания тупиковой выработки по газам, образующимся при взрывных работах, осуществляется по формуле

$$Q_{з.п} = \frac{2,25}{T} \sqrt[3]{\frac{V_{ВВ} S_{св}^2 l_{п}^2 k_{обв}}{k_{ут.тр}^2}}, \quad (5)$$

где  $T$  – время проветривания выработки после взрывания, мин, принимается согласно ПБ;  $V_{ВВ}$  – объем вредных газов, образующихся после взрывания, л, определяется по формуле;

$$V_{ВВ} = 100B_{уг} + 40B_{пор} \quad (6)$$

$B_{уг}$ ,  $B_{пор}$  – масса одновременно взрываемых ВВ по углю и породе соответственно, кг; если взрывание по углю и породе производится отдельно (в несколько приемов), то при расчете  $Q_{з.п}$  принимается максимальное значение  $V_{ВВ}$ ;  $l_{п}$  – длина тупиковой части выработки, м; для горизонтальных и наклонных тупи-

ковых выработок длиной 500 м и более вместо  $l_{п}$  подставляется критическая длина  $l_{п\text{кр}}$  равная 500 м;  $k_{\text{обв}}$  – коэффициент, учитывающий обводненность тупиковой выработки, принимается по таблице 2.1;  $k_{\text{ут.тр}}$  – коэффициент утечек воздуха в вентиляционных трубопроводах, определяется согласно п. 2. При определении  $k_{\text{ут.тр}}$  необходимо предварительно принять расход воздуха

$$Q_{з.п} = 60S_{\text{св}}V_{\text{min}}.$$

Таблица 2.1 – Значение коэффициента обводненности  $k_{\text{обв}}$

<b>Характеристика выработки</b>	<b><math>k_{\text{обв}}</math></b>
Горизонтальные и наклонные тупиковые выработки проводятся по сухим породам	0,8
Горизонтальные и наклонные тупиковые выработки частично проводятся по водоносным породам (влажные выработки)	0,6
Горизонтальные и наклонные тупиковые выработки на всю длину проводятся по водоносным породам или с применением водяных завес (обводненные выработки)	0,3

### **3. ВЫБОР СРЕДСТВ ПРОВЕТРИВАНИЯ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ И НАКЛОННЫХ ВЫРАБОТОК**

#### **3.1 Выбор вентиляционного трубопровода и расчет его параметров**

При проведении горизонтальных и наклонных выработок для вентиляционных трубопроводов в зависимости от способа проветривания могут применяться как жесткие, так и гибкие вентиляционные трубы.

При нагнетательном способе проветривания, как правило, применяются гибкие вентиляционные трубы, а при всасывающем – жесткие.

Диаметр трубопровода выбирается в зависимости от его длины и расхода воздуха на выходе из трубопровода  $Q_{\text{тр}}$  равным, если воздух подается в призабойное пространство по одному трубопроводу, расчетному расходу воздуха для проветривания призабойного пространства, то есть  $Q_{\text{тр}} = Q_{з.п}$  Ориентировочно диаметр гиб-

ких труб типов 1А и 1Б можно принимать согласно таблице 2.

Для уменьшения коэффициента утечек воздуха и аэродинамического сопротивления гибких трубопроводов следует применять комбинированный вентиляционный трубопровод из гибких труб типов 1А и 1Б с введенным внутрь полиэтиленовым рукавом и конечным участком трубопровода без полиэтиленового рукава. Комбинированный трубопровод рекомендуется применять при диаметре труб 0,6 м и более и длине трубопровода более 400 м. Длина конечного участка без полиэтиленового рукава должна составлять 150–200 м. Комбинированный трубопровод допускается применять только со специальным пускорегулирующим устройством на ВМП.

Коэффициент утечек воздуха для гибких вентиляционных трубопроводов из труб типа 1А и 1Б диаметром 0,6–1,0 м принимается по таблице 2 в зависимости от длины трубопровода и расхода воздуха в конце его, а для трубопроводов диаметром 0,5 м и менее определяется по формуле

$$k_{\text{о.о.}} = 1 + 1,78 \cdot 10^{-6} d_{\text{тр}}^2 l_{\text{тр}}^2 Q_{\text{ф.и}}, \quad (7)$$

где  $d_{\text{тр}}$  – диаметр трубопровода, м;  $l_{\text{тр}}$  – длина трубопровода, м.

Для новых типов труб, а также при длине звена более 20 м значения коэффициента утечек воздуха принимаются по рекомендациям ВостНИИ или МакНИИ.

При использовании комбинированного гибкого трубопровода коэффициент утечек воздуха определяется по формуле

$$k_{\text{ут. тр}} = k_{\text{ут. тр1}} k_{\text{ут. тр2}}, \quad (8)$$

где  $k_{\text{ут. тр1}}$  – коэффициент утечек воздуха для конечного участка трубопровода без полиэтиленового рукава, определяется по таблице 3.1;  $k_{\text{ут. тр2}}$  – коэффициент утечек воздуха для участка трубопровода с полиэтиленовым рукавом, определяется по таблице 3. При определении значения  $k_{\text{ут. тр2}}$  по таблице 3.2 значение  $Q'_{\text{ф.и}}$  следует определять по формуле

$$Q'_{\text{ф.и}} = Q_{\text{ф.и}} k_{\text{о.о.}}. \quad (9)$$

Таблица 3.1 – Значения коэффициента утечек воздуха для гибких вентиляционных трубопроводов из труб 1А и 1Б при длине звена 20 м

Расход воздуха в конце трубопровода, $Q_{\text{з.т}}$ , м <sup>3</sup> /с	Коэффициент утечек воздуха при длине трубопровода, м														
	50	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1200	1400	1600	2000
<b>Для труб диаметром 0,6 м</b>															
0,5	1,01	1,02	1,07	1,14	1,22	1,31	1,43	1,56	1,72	1,90	2,10	2,60	3,23	4,06	6,47
1,0	1,01	1,03	1,08	1,15	1,24	1,36	1,50	1,67	1,87	2,11	2,40	3,12	4,14	5,57	
1,5	1,01	1,03	1,08	1,17	1,27	1,41	1,58	1,79	2,04	2,35	2,73	3,76	5,32		
2,0	1,01	1,03	1,09	1,18	1,30	1,46	1,66	1,91	2,23	2,62	3,12	4,54			
2,5	1,01	1,03	1,10	1,20	1,33	1,51	1,74	2,04	2,43	2,93	3,57				
3,0	1,01	1,03	1,10	1,21	1,36	1,57	1,83	2,19	2,65						
3,5	1,01	1,03	1,11	1,23	1,39	1,62	1,93	2,34							
4,0	1,01	1,03	1,12	1,24	1,43	1,68	2,03								
4,5	1,01	1,04	1,12	1,26	1,46	1,74									
5,0	1,01	1,04	1,13	1,28	1,49										
5,5	1,01	1,04	1,14	1,29	1,53										
6,0	1,01	1,04	1,14	1,31											
6,5	1,01	1,04	1,15	1,33											
7,0	1,01	1,04	1,16												
7,5	1,01	1,05	1,16												
8,0	1,01	1,05	1,17												

Расход воздуха в конце трубопровода, $Q_{c.i}$ , м <sup>3</sup> /с	Коэффициент утечек воздуха при длине трубопровода, м														
	50	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1200	1400	1600	2000
<b>Для труб диаметром 0,8 м</b>															
0,5	1,01	1,01	1,04	1,08	1,13	1,18	1,24	1,31	1,39	1,47	1,57	1,79	2,04	2,35	3,13
1,0	1,01	1,02	1,04	1,08	1,13	1,19	1,26	1,34	1,43	1,52	1,63	1,89	2,21	2,60	3,63
1,5	1,01	1,02	1,05	1,09	1,14	1,21	1,28	1,37	1,46	1,58	1,70	2,01	2,39	2,87	4,23
2,0	1,01	1,02	1,05	1,09	1,15	1,22	1,30	1,39	1,50	1,63	1,77	2,13	2,58	3,17	4,90
2,5	1,01	1,02	1,05	1,10	1,16	1,23	1,32	1,42	1,54	1,69	1,85	2,25	2,79	3,50	
3,0	1,01	1,02	1,05	1,10	1,17	1,24	1,34	1,45	1,59	1,74	1,93	2,39	3,02	3,88	
3,5	1,01	1,02	1,05	1,11	1,17	1,26	1,36	1,48	1,63	1,80	2,01	2,53	3,26	4,29	
4,0	1,01	1,02	1,06	1,11	1,18	1,27	1,38	1,52	1,67	1,87	2,09	2,68	3,53	4,75	
4,5	1,01	1,02	1,06	1,11	1,19	1,29	1,40	1,55	1,72	1,93	2,18	2,85	3,82		
5,0	1,01	1,02	1,06	1,12	1,20	1,30	1,43	1,58	1,77	2,00	2,27				
5,5	1,01	1,02	1,06	1,12	1,21	1,31	1,45	1,61	1,82	2,06	2,37				
6,0	1,01	1,02	1,06	1,13	1,22	1,33	1,47	1,65	1,86	2,13	2,47				
6,5	1,01	1,02	1,07	1,13	1,22	1,34	1,49	1,68	1,92	2,21	2,57				
7,0	1,01	1,02	1,07	1,14	1,23	1,36	1,52	1,72	1,97	2,28					
7,5	1,01	1,02	1,07	1,14	1,24	1,37	1,54	1,75	2,02	2,36					
8,0	1,01	1,02	1,07	1,15	1,25	1,39	1,56	1,79	2,08						
8,5	1,01	1,02	1,07	1,15	1,26	1,40	1,59	1,83	2,13						
9,0	1,01	1,02	1,07	1,16	1,27	1,42	1,61								
9,5	1,01	1,02	1,08	1,16	1,28	1,43	1,64								
10,0	1,01	1,02	1,08	1,16	1,29	1,45	1,66								

Расход воздуха в конце трубопровода, $Q_{c.i}, \text{ м}^3/\text{с}$	Коэффициент утечек воздуха при длине трубопровода, м														
	50	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1200	1400	1600	2000
<b>Для труб диаметром 1,0 м</b>															
0,5	1,00	1,01	1,03	1,06	1,09	1,12	1,16	1,21	1,26	1,32	1,38	1,51	1,67	1,84	2,27
1,0	1,00	1,01	1,03	1,06	1,09	1,13	1,17	1,22	1,27	1,33	1,40	1,55	1,72	1,92	2,42
1,5	1,00	1,01	1,03	1,06	1,09	1,13	1,18	1,23	1,29	1,35	1,42	1,59	1,78	2,00	2,58
2,0	1,00	1,01	1,03	1,06	1,10	1,14	1,19	1,24	1,30	1,37	1,45	1,62	1,84	2,09	2,75
2,5	1,00	1,01	1,03	1,06	1,10	1,14	1,19	1,25	1,32	1,39	1,47	1,66	1,90	2,18	2,93
3,0	1,00	1,01	1,03	1,06	1,10	1,15	1,20	1,26	1,33	1,41	1,50	1,71	1,96	2,27	3,13
3,5	1,00	1,01	1,03	1,07	1,11	1,15	1,21	1,27	1,35	1,43	1,53	1,75	2,03	2,37	3,34
4,0	1,00	1,01	1,04	1,07	1,11	1,16	1,22	1,29	1,36	1,45	1,55	1,79	2,09	2,48	3,56
4,5	1,00	1,01	1,04	1,07	1,11	1,16	1,23	1,30	1,38	1,47	1,58	1,84	2,16	2,58	3,80
5,0	1,00	1,01	1,04	1,07	1,12	1,17	1,23	1,31	1,39	1,49	1,61	1,88	2,24	2,69	
5,5	1,00	1,01	1,04	1,07	1,12	1,17	1,24	1,32	1,41	1,51	1,63	1,93	2,31	2,81	
6,0	1,00	1,01	1,04	1,08	1,12	1,18	1,25	1,33	1,43	1,54	1,66	1,98	2,39	2,93	
6,5	1,00	1,01	1,04	1,08	1,13	1,19	1,26	1,34	1,44	1,56	1,69	2,03	2,47		
7,0	1,00	1,01	1,04	1,08	1,13	1,19	1,27	1,35	1,46	1,58	1,72	2,08	2,55		
7,5	1,00	1,01	1,04	1,08	1,13	1,20	1,27	1,37	1,47	1,60	1,75	2,13			
8,0	1,00	1,01	1,04	1,08	1,14	1,20	1,28	1,38	1,49	1,63	1,78	2,18			
8,5	1,00	1,01	1,04	1,08	1,14	1,21	1,29	1,39	1,51	1,65	1,81	2,23			
9,0	1,00	1,01	1,04	1,09	1,14	1,21	1,30	1,40	1,53	1,67	1,84	2,29			
9,5	1,00	1,01	1,04	1,09	1,15	1,22	1,31	1,41	1,54	1,70	1,88	2,35			
10,0	1,00	1,01	1,04	1,09	1,15	1,22	1,31	1,43	1,56	1,72	1,91				

Таблица 3.2 – Значения коэффициентов утечек воздуха для трубопроводов с полиэтиленовым рукавом

Длина трубопровода, м	Диаметр трубопровода, м	Значение коэффициента утечек воздуха при $Q_{з.п}$ , м <sup>3</sup> /мин			
		до 150	151–300	301–450	451–600
до 500	0,6-1,0	1,01–1,01	1,02–1,01	1,04–1,01	1,06–1,01
501–600	0,6–1,0	1,02–1,01	1,04–1,01	1,06–1,01	1,08–1,01
601–800	0,6–1,0	1,04–1,01	1,07–1,01	1,11–1,01	1,15–1,02
801–1000	0,6–1,0	1,04–1,01	1,10–1,02	1,15–1,02	1,19–1,03
1001–1500	0,6	1,11	1,23	1,25	–
	0,8–1,0	1,03–1,02	1,06–1,03	1,11–1,05	1,14–1,06
1501–2000	0,6	1,19	1,45	1,71	–
	0,8–1,0	1,06–1,03	1,14–1,06	1,19–1,09	1,28–1,12
2001–2500	0,6	1,38	1,56	–	–
	0,8–1,0	1,12–1,04	1,25–1,10	1,35–1,14	1,40–1,19

Примечание. Для трубопроводов длиной до 1000 м и диаметром 0,8 м значение  $k_{ут.тр2}$  определяется интерполяцией.

Аэродинамическое сопротивление гибкого вентиляционного трубопровода без утечек воздуха определяется по формуле

$$R_{\delta\delta.г} = r_{\delta\delta} (l_{\delta\delta} + 20d_{\delta\delta}n_1 + 10d_{\delta\delta}n_2), \quad (10)$$

где  $r_{тр}$  – удельное аэродинамическое сопротивление гибкого вентиляционного трубопровода без утечек воздуха, кц/м; для труб типа 1А и 1Б при длине звена 20 м значение  $R_{тр}$  принимается по таблице 3.3;  $n_1$ ,  $n_2$  – число поворотов трубопроводов на 90° и 45° соответственно.

Таблица 3.3 – Значение удельного аэродинамического сопротивления  $r_{тр}$

Диаметр трубопровода, м	0,5	0,6	0,8	1,0
Удельное аэродинамическое сопротивление $r_{тр}$ , кц/м	0,177	0,071	0,0161	0,0053

Аэродинамическое сопротивление гибкого комбинирован-

ного вентиляционного трубопровода определяется по формуле

$$R_{\text{од.г}} = r_{\text{од}}(l_{\text{од1}} + 20d_{\text{од1}}n_1 + 10d_{\text{од1}}n_1) + r_{\text{од.е}}(l_{\text{од2}} + 20d_{\text{од2}}n_2 + 10d_{\text{од2}}n_2) \quad (11)$$

где  $l_{\text{тр1}}$  – длина конечного участка трубопровода без полиэтиленового рукава, м;  $d_{\text{тр1}}$  – диаметр конечного участка трубопровода без полиэтиленового рукава, м;  $r_{\text{тр.к}}$  – удельное аэродинамическое сопротивление трубопровода с полиэтиленовым рукавом, кц/м; принимается равным 0,0194; 0,0046 и 0,00153 кц/м при диаметре труб 0,6; 0,8 и 1,0 м соответственно;  $l_{\text{тр2}}$  – длина участка трубопровода с полиэтиленовым рукавом, м;  $d_{\text{тр2}}$  – диаметр участка трубопровода с полиэтиленовым рукавом, м.

### 3.2 Расчет параметров вентилятора местного проветривания

Для проветривания горизонтальных и наклонных тупиковых выработок при их проходке следует принимать вентиляторы, аэродинамические характеристики которых приведены в прил. А.

Подача вентилятора, работающего на гибкий или жесткий трубопровод, определяется по формуле

$$Q_{\hat{a}} = Q_{\text{г.г}} k_{\text{од.од}} \quad (12)$$

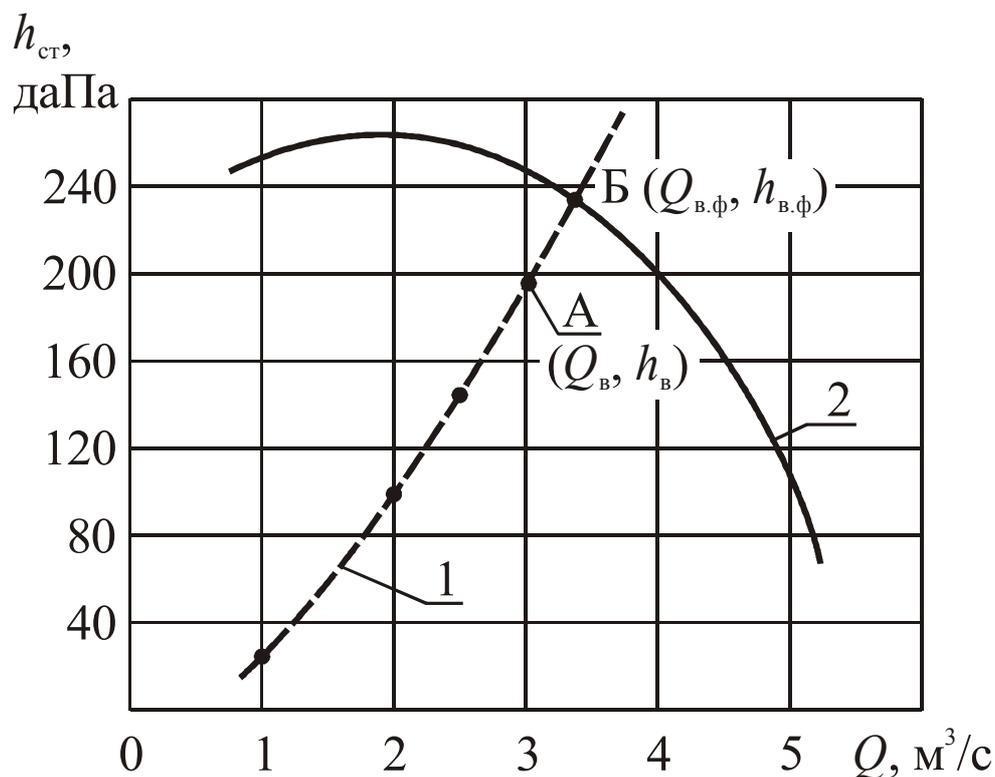
Давление вентилятора, работающего на гибкий вентиляционный трубопровод или гибкий комбинированный трубопровод (депрессия трубопровода), определяется по формуле

$$h_{\hat{a}} = Q_{\hat{a}}^2 R_{\text{од.г}} \left( \frac{0,59}{k_{\text{од.од}}} + 0,41 \right)^2 \quad (13)$$

### 3.3 Выбор вентилятора местного проветривания

Выбор вентилятора производится путем нанесения расчетного режима его работы  $Q_{\text{в}}$  и  $h_{\text{в}}$  (см. рисунок 3.1), определяемого по формулам (12) и (13), на график аэродинамических характери-

стик вентиляторов. При этом для проветривания выработки следует принимать такой вентилятор (или несколько вентиляторов, установленных последовательно или параллельно), аэродинамическая характеристика которого проходит через точку с координатами расчетного режима  $Q_B$  и  $h_B$  или выше нее.



1 – аэродинамическая характеристика трубопровода (сети);  
 2 – аэродинамическая характеристика вентилятора  
 Рисунок 3.1 – Определение режима работы вентилятора

При использовании вентиляционных трубопроводов из гибких труб типов 1А и 1Б предварительно можно выбрать вентилятор по таблице 3.4 в зависимости от диаметра и максимальной длины трубопровода и значения  $Q_{з.п.}$ , а затем уточнить тип вентилятора по аэродинамической характеристике трубопровода.

Таблица 3.4 – Максимальная длина тупиковой выработки в зависимости от расхода воздуха у забоя, типа вентиляторов, диаметра труб типов 1А и 1Б

Тип ВМП	Диаметр труб, м	Максимальная длина тупиковой выработки (м) при расходе воздуха, необходимом для проветривания призабойного пространства, $Q_{\text{з.п}}$ , м <sup>3</sup> /с												
		1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	7,0	8,0	9,0
ВМ-5	0,5	515	325	225	150									
	0,6	800	560	410	300	220								
СВМ-6	0,6	820	600	440	320	260	200	140	110					
	0,8	1550	1200	970	800	650	540	430	340	260	160			
ВМ-6	0,6	920	680	510	400	320	250	200	160	140	100			
	0,8	1700	1400	1160	960	800	680	570	470	380	300	200	100	
ВМЦ-6	0,6	1140	900	740	610	500	400	330	270	220	170	120		
	0,8	2000	1630	1380	1180	1030	890	770	670	590	520	380	265	160
ВМЦ-8	0,8	2060	1710	1450	1240	1090	960	860	750	660	600	460	350	250
	1,0	2500	2500	2390	2140	1900	1700	1510	1350	1200	1090	880	690	520

Построение аэродинамической характеристики гибкого вентиляционного трубопровода и гибкого комбинированного трубопровода производится следующим образом. Задаются произвольные значения  $Q_{з.п}$  в  $м^3/с$  и для каждого из них определяются: коэффициент утечек воздуха  $k_{ут.тр}$ , расход воздуха в начале трубопровода (подача ВМП)  $Q_B$  и депрессия трубопровода (давление ВМП)  $h_B$  по формуле (13). По парным значениям  $Q_B$  и  $h_B$  на графике наносятся точки, по которым строится кривая.

Если нельзя обеспечить подачу требуемого расхода воздуха по одному трубопроводу, то проветривание выработки можно осуществлять по двум или трем трубопроводам.

Если аэродинамическая характеристика вентилятора (или нескольких вентиляторов, установленных последовательно или параллельно) проходит выше точки с координатами расчетного режима  $Q_B$  и  $h_B$ , то для определения фактических значений подачи  $Q_{в.ф}$  и давления  $h_{в.ф}$  выбранного вентилятора (вентиляторов) необходимо нанести аэродинамическую характеристику трубопровода на график аэродинамической характеристики вентилятора. Точка пересечения характеристик (см. рисунок 1, точка Б) определяет фактические значения производительности и депрессии вентилятора.

Расход воздуха в месте установки ВМП должен удовлетворять следующим условиям:

– для любого отдельно установленного ВМП

$$Q_{вс} \geq 1,43Q_B k_p; \quad (14)$$

– для любой группы ВМП, работающих на разные трубопроводы и установленных в одном месте

$$Q_{вс} \geq 1,43k_p \sum Q_B, \quad (15)$$

где  $Q_B$  – подача ВМП при длине тупиковой выработки на отдельные периоды, для которых выполняется расчет;  $k_p$  – коэффициент, принимаемый равным 1,0 для ВМП с нерегулируемой подачей и 1,1 – для ВМП с регулируемой.

Примечания. 1. ВМП, работающие на один трубопровод, следует считать как один вентилятор.

2. ВМП считаются установленными в одном месте, если расстояние между ними не превышает 10 м, при расстоянии от ближайшего ВМП более 10 м вентилятор считается установленным отдельно.

#### 4. ТИПОВАЯ ЗАДАЧА С РЕШЕНИЕМ

##### Исходные данные:

Выработка проводится по сухим породам буровзрывным способом. Длина выработки 300 м, площадь сечения в свету 12,8 м<sup>2</sup>. Газовыделение в забое выработки: метан (СН<sub>4</sub>) – нет, углекислый газ (СО<sub>2</sub>) – 0,35 м<sup>3</sup>/мин. Масса одновременно взрываемого ВВ – 40 кг, время проветривания после взрыва 30 мин.

##### Решение:

Для проветривания выработки при ее сооружении принимается нагнетательный способ с использованием ВМП и гибкого вентиляционного трубопровода из труб типа 1А с длиной звеньев 20 м. Диаметр трубопровода принимается равным 0,6 м.

Расход воздуха по газовыделению в забое выработки производится по формуле (1). Так как выделения метана в забое нет, то расчет производится только по углекислому газу

$$Q_{\text{г.г}} = \frac{100 \cdot 0,35}{0,5 - 0} = 70 \text{ м}^3 / \text{ч}.$$

Расход воздуха по минимальной скорости движения воздушной струи в выработке рассчитывается по формуле (2)

$$Q_{\text{г.г}} = 60 \cdot 12,8 \cdot 0,25 = 192 \text{ м}^3 / \text{ч}.$$

Расход воздуха по минимальной скорости в призабойном пространстве тупиковой выработки в зависимости от температуры определяется по формуле (3). Согласно ПБ, при температуре воздуха +24° С и влажности 80 %  $V_{\text{в.мин}} = 0,5$  м/с

$$Q_{\text{г.г}} = 20 \cdot 12,8 \cdot 0,5 = 128 \text{ м}^3 / \text{ч}.$$

Расчет расхода воздуха по наибольшему числу людей, одно-

временно находящихся в выработке, производится по формуле (4)

$$Q_{\text{з.п}} = 6 \cdot 10 = 60 \text{ м}^3/\text{мин}.$$

Расход воздуха для проветривания выработки по газам, образующимся при взрывных работах, определяется по формуле (5). По формуле (6) находится объем вредных газов, образующихся после взрыва. Так как забой выработки породный

$$V_{\text{ВВ}} = 100 \cdot 0 + 40 \cdot 40 = 1600 \text{ л}.$$

Коэффициент обводненности, согласно таблице 1, принимается равным 0,8. Коэффициент утечек воздуха при  $Q_{\text{з.п}} = 60 \cdot 12,8 \cdot 0,25 = 192 \text{ м}^3/\text{мин} = 3,2 \text{ м}^3/\text{с}$  для гибкого вентиляционного трубопровода длиной 300 м и диаметром 0,6 м определен по таблице 2 и равен  $k_{\text{ут.тр}} = 1,23$

$$Q_{\text{з.п}} = \frac{2,25}{30} \sqrt[3]{\frac{1600 \cdot 12,8^2 \cdot 300^2 \cdot 0,8}{1,23^2}} = 174 \text{ м}^3/\text{мин}.$$

Окончательно принимается  $Q_{\text{з.п}} = 192 \text{ м}^3/\text{мин} = 3,2 \text{ м}^3/\text{с}$ .

Аэродинамическое сопротивление гибкого вентиляционного трубопровода без утечек воздуха определяется по формуле (10). Удельное аэродинамическое сопротивление определяется по таблице 3.3. Число поворотов трубопровода на  $90^\circ - 1$ , на  $45^\circ - 0$

$$R_{\text{д.г}} = 0,071(300 + 20 \cdot 0,6 \cdot 1) = 22,15 \text{ м}.$$

Подача вентилятора определяется по формуле (12)

$$Q_{\text{в}} = 3,2 \cdot 1,23 = 4 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Давление вентилятора определяется по формуле (13)

$$h_{\text{в}} = 4^2 \cdot 22,15 \left( \frac{0,59}{1,23} + 0,41 \right)^2 = 280 \text{ Па}.$$

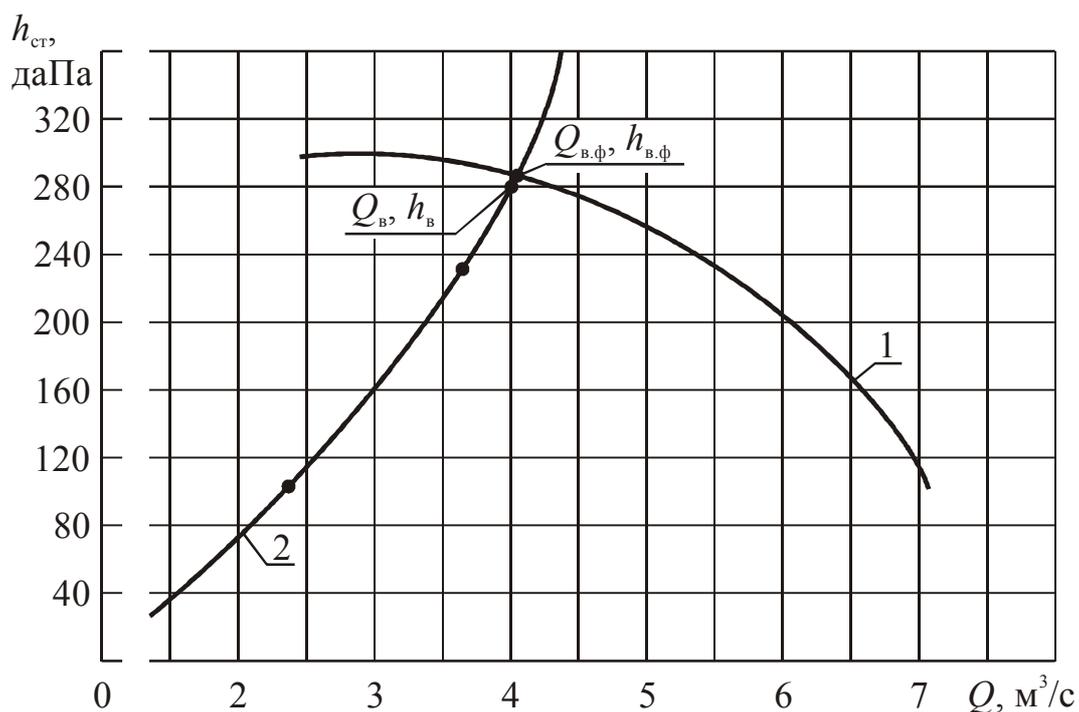
По таблице 3.4 предварительно принимается вентилятор ВМ-6. Определяются координаты нескольких точек аэродинамиче-

ской характеристики вентиляционного трубопровода (согласно п. 3.3). Результаты расчета сведены в таблицу 4.1.

На координатную сетку по парным значениям  $Q_B$  и  $h_B$  наносятся точки, по которым строится кривая аэродинамической характеристики трубопровода. На эту же координатную сетку наносится аэродинамическая характеристика вентилятора ВМ-6 (см. рисунок 4.1), проходящая выше точки с координатами расчетного режима проветривания.

Таблица 4.1 – Аэродинамическая характеристика вентиляционного трубопровода

$Q_{з.п.}, \text{ м}^3/\text{с}$	1	2	3	4
$k_{\text{вт.тр}}$	1,15	1,18	1,21	1,24
$Q_B, \text{ м}^3/\text{с}$	1,15	2,36	3,63	4,96
$h_B, \text{ даПа}$	25	102	235	428



1 – аэродинамическая характеристика ВМ-6;

2 – аэродинамическая характеристика трубопровода

Рисунок 4.1 – Определение фактического режима работы вентилятора

Фактические значения подачи и давления (точка Б) вентилятора ВМ-6 равны  $Q_{в.ф} = 4,2 \text{ м}^3/\text{с}$  и  $h_{в.ф} = 285 \text{ даПа}$ .

Расход воздуха в месте установки ВМП, согласно формуле (14)

$$30 \geq 1,43 \cdot 4,2 \cdot 1,1;$$

$$30 \geq 6,56 \text{ (м}^3/\text{с)}.$$

Окончательно для проветривания выработки принимается вентилятор местного проветривания ВМ-6 с гибким вентиляционным трубопроводом диаметром 0,6 м и длиной звеньев 20 м. Техническая характеристика вентилятора ВМ-6 представлена в таблице 4.2

Таблица 4.2 – Техническая характеристика вентилятора ВМ-6

Показатели	Значение
Диаметр рабочего колеса, мм	600
Количество оборотов в минуту	2950
Подача, м <sup>3</sup> /с	
минимальная	2,3
максимальная	4,0
Статическое давление в рабочей зоне, даПа	
минимальное	74
максимальное	333
Мощность электродвигателя, кВт	24
Основные размеры, мм	
длина	1050
ширина	730
высота	750
Масса, кг	350

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

### Аэродинамические характеристики вентиляторов

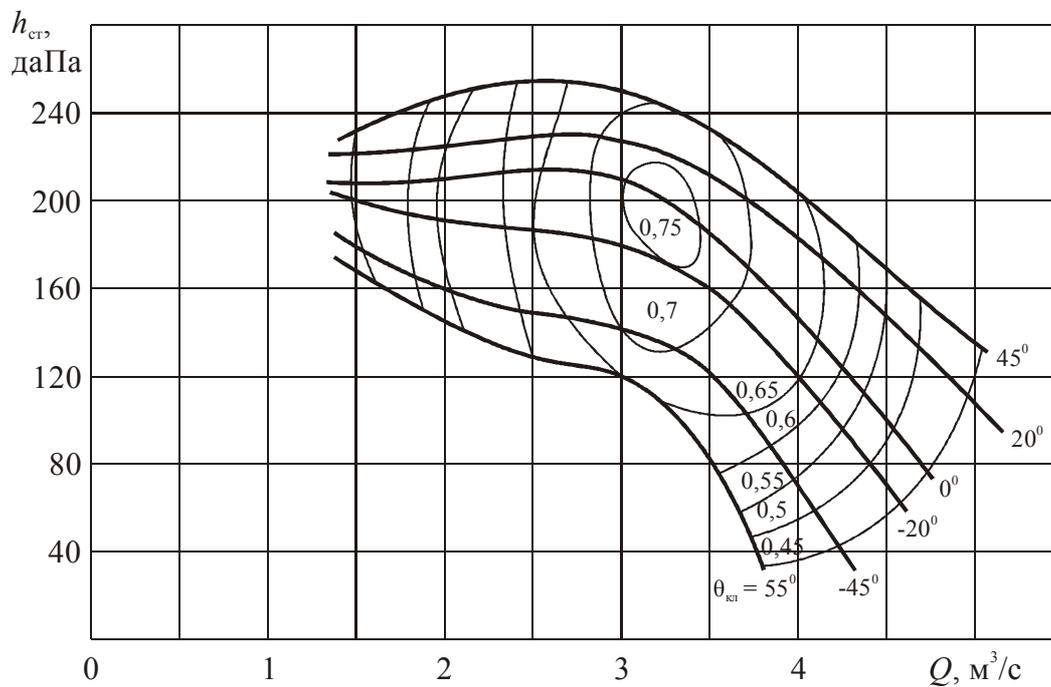


Рисунок 1 – Аэродинамическая характеристика вентилятора ВМ-5

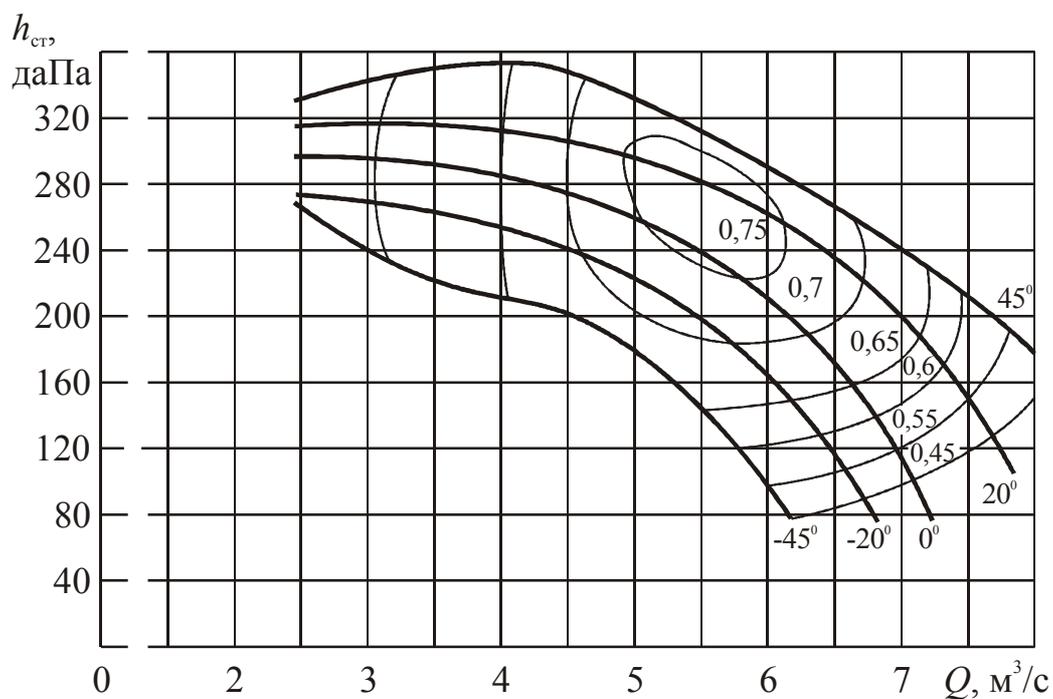


Рисунок 2 – Аэродинамическая характеристика вентилятора ВМ-6

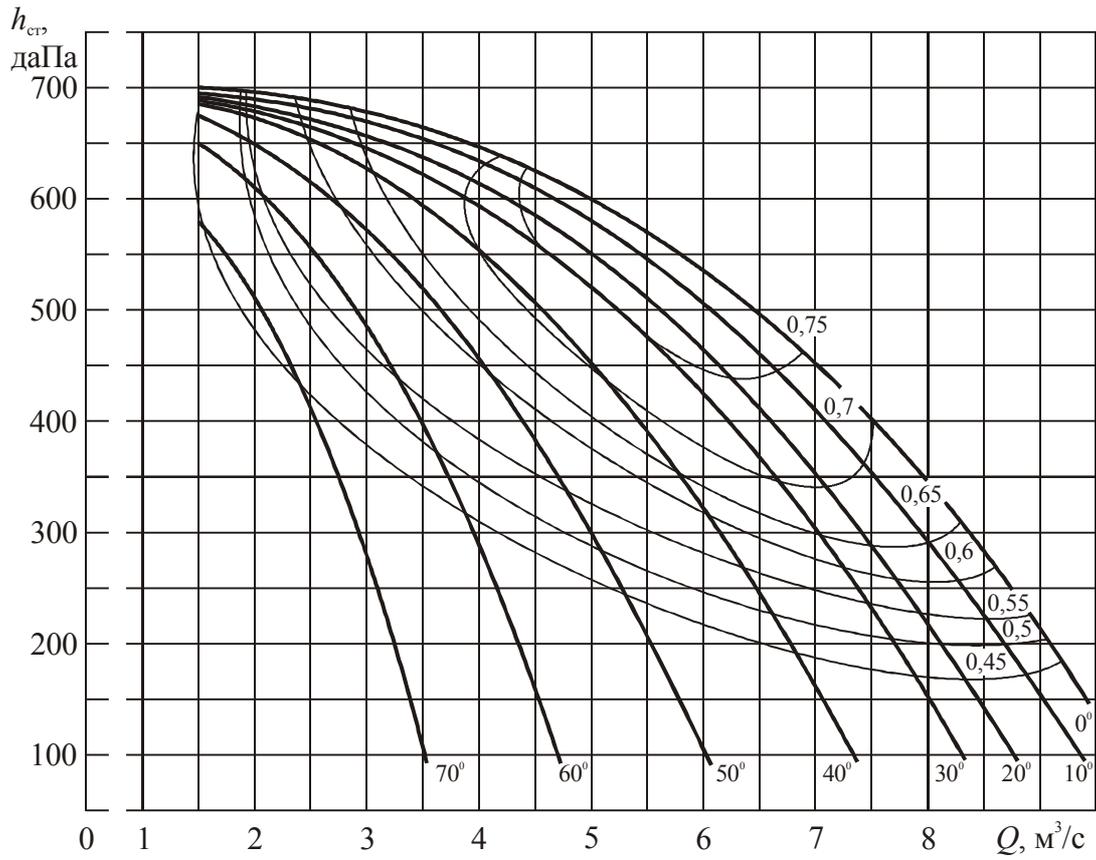


Рисунок 3 – Аэродинамическая характеристика вентилятора ВМЦ-6

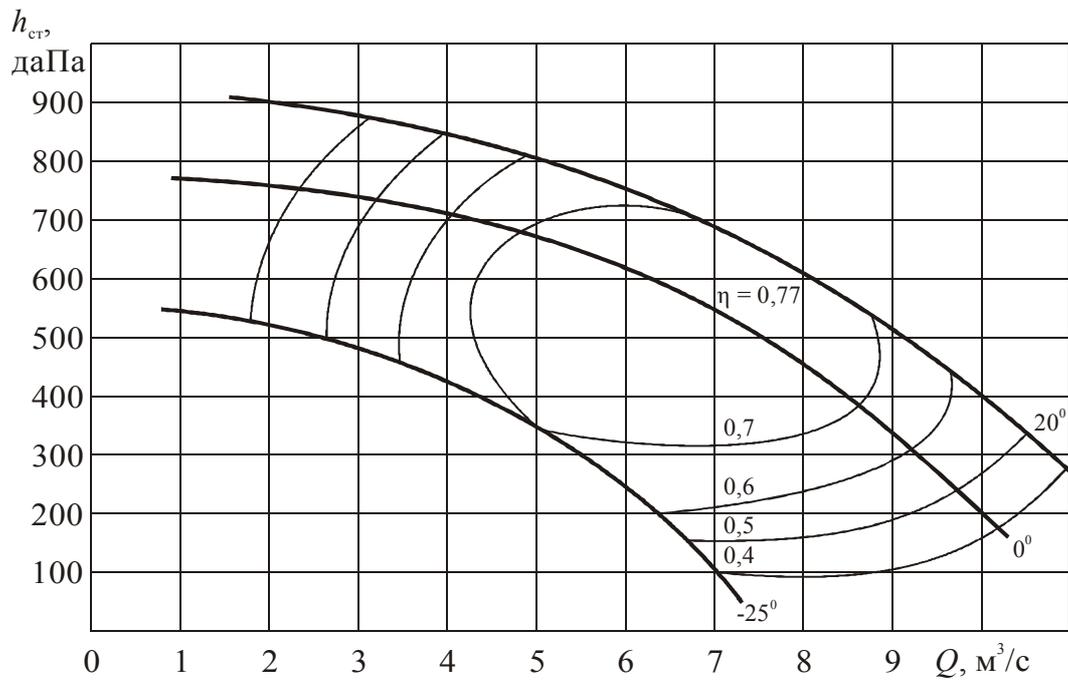


Рисунок 4 – Аэродинамическая характеристика вентилятора ВМЦ-8

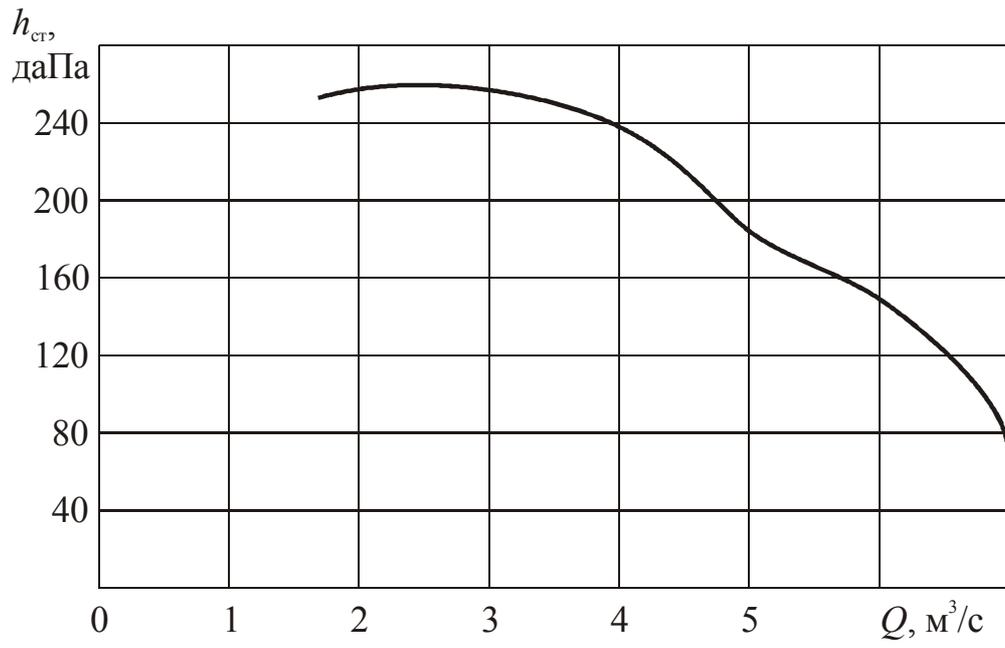


Рисунок 5 – Аэродинамическая характеристика вентилятора СВМ-6

Таблица 1 – Технические характеристики вентиляторов

Показатели	Осевые вентиляторы		Центробежные вентиляторы		
	ВМ-5	ВМ-6	ВМЦ-6	ВМЦ-8	СВМ-6
Диаметр рабочего колеса, мм	500	600	600	800	600
Количество оборотов в минуту	2950	2950	2950	2950	2950
Подача, м <sup>3</sup> /с					
минимальная	2,1	2,3	1,4	1,5	3,2
максимальная	3,65	4,0	9,2	10,7	7,0
Статическое давление в рабочей зоне, даПа					
минимальное	58	74	157	137	120
максимальное	200	333	700	882	245
Мощность электродвигателя, кВт	15	24	55	75	15
Основные размеры, мм					
длина	980	1050	1700	1495	630
ширина	600	730	1350	1200	700
высота	825	750	1795	1430	690
Масса, кг	270	350	1080	1400	265

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Таблица 1 – Задание на выполнение расчетно-графической работы №4

Вариант	Площадь поперечного сечения выработки в свету, м <sup>2</sup>	Длина выработки, м	Обводненность пород	Газовыделение, м <sup>3</sup> /мин		Масса одновременно взорванных ВВ, кг		Время проветривание забоя, мин	Мах число людей, одновременно находящихся в забое, чел.
				метан (СН <sub>4</sub> )	углекислый газ (СО <sub>2</sub> )	по углю	по породе		
1.	13,8	480	сухие	0,90	0,50	–	39,8	25	6
2.	12,4	560	обводненные	–	0,60	9,8	46,1	25	5
3.	10,8	710	влажные	0,85	0,35	8,9	53,5	30	5
4.	13,3	450	обводненные	0,76	–	6,7	38,4	–	6
5.	14,3	530	обводненные	1,10	0,45	–	39,0	20	6
6.	8,5	490	сухие	–	0,40	14,5	29,7	25	4
7.	9,6	650	сухие	0,88	0,30	13,6	34,6	–	4
8.	13,0	390	влажные	0,95	0,42	–	53,5	30	5
9.	10,6	490	влажные	1,00	0,57	12,5	38,0	–	6
10.	15,8	550	обводненные	1,20	0,76	6,9	29,5	25	7
11.	9,3	670	сухие	–	0,65	–	36,1	–	5
12.	9,8	640	сухие	0,90	0,63	8,7	34,5	25	5

Продолжение таблицы 1

Вариант	Площадь поперечного сечения выработки в свету, м <sup>2</sup>	Длина выработки, м	Обводненность пород	Газовыделение, м <sup>3</sup> /мин		Масса одновременно взорванных ВВ, кг		Время проветривание забоя, мин	Мах число людей, одновременно находящихся в забое, чел.
				метан (СН <sub>4</sub> )	углекислый газ (СО <sub>2</sub> )	по углю	по породе		
13.	16,3	430	влажные	1,30	–	9,5	45,6	–	7
14.	14,4	720	влажные	–	0,56	11,4	35,8	30	6
15.	8,6	630	сухие	0,97	0,64	12,5	46,5	–	5
16.	8,9	570	обводненные	1,13	0,49	–	41,2	–	5
17.	13,5	360	влажные	0,85	0,38	8,6	28,9	20	6
18.	7,7	630	обводненные	0,98	–	–	45,6	30	4
19.	15,3	650	обводненные	1,10	0,53	–	36,6	25	6
20.	15,7	540	сухие	1,15	0,47	6,9	39,8	20	6
21.	16,4	580	сухие	–	0,54	11,4	46,1	–	7
22.	8,9	430	влажные	0,61	0,39	–	53,5	30	5
23.	9,6	460	влажные	0,65	0,43	–	38,4	–	5
24.	15,7	640	обводненные	1,24	0,56	9,1	39,0	–	6
25.	8,7	750	сухие	0,93	–	9,6	29,7	25	4
26.	15,4	650	сухие	0,45	0,60	–	34,6	20	6
27.	9,8	770	влажные	0,97	0,47	8,9	53,5	25	5
28.	12,5	690	влажные	1,13	–	9,4	38,0	–	6

Продолжение таблицы 1

Вариант	Площадь поперечного сечения выработки в свету, м <sup>2</sup>	Длина выработки, м	Обводненность пород	Газовыделение, м <sup>3</sup> /мин		Масса одновременно взорванных ВВ, кг		Время проветривание забоя, мин	Мах число людей, одновременно находящихся в забое, чел.
				метан (СН <sub>4</sub> )	углекислый газ (СО <sub>2</sub> )	по углю	по породе		
29.	16,5	560	сухие	0,85	0,60	8,3	29,5	25	7
30.	13,9	640	влажные	0,98	0,56	8,7	45,6	25	6
31.	15,4	550	влажные	–	0,49	7,8	35,8	–	6
32.	9,9	430	обводненные	0,88	0,57	–	46,5	30	5
33.	12,9	630	сухие	0,95	0,50	7,3	41,2	25	5
34.	8,3	650	сухие	1,00	0,60	11,1	28,9	25	4
35.	7,1	560	влажные	1,20	–	10,2	45,6	30	4
36.	9,7	540	влажные	0,61	0,37	–	36,6	20	4
37.	7,8	580	влажные	0,65	0,45	10,5	39,8	30	4
38.	16,4	430	обводненные	1,24	0,50	10,0	36,8	–	7
39.	9,8	400	сухие	0,93	0,63	–	45,6	–	5
40.	13,5	750	сухие	0,95	–	6,5	36,6	–	6
41.	16,1	650	влажные	0,97	0,47	9,8	39,8	30	6
42.	14,3	770	сухие	0,90	0,38	11,7	46,1	–	6
43.	8,3	690	обводненные	–	0,56	15,7	53,5	30	5
44.	15,7	560	влажные	0,85	0,65	–	38,4	25	6

Продолжение таблицы 1

Вариант	Площадь поперечного сечения выработки в свету, м <sup>2</sup>	Длина выработки, м	Обводненность пород	Газовыделение, м <sup>3</sup> /мин		Масса одновременно взорванных ВВ, кг		Время проветривание забоя, мин	Мах число людей, одновременно находящихся в забое, чел.
				метан (СН <sub>4</sub> )	углекислый газ (СО <sub>2</sub> )	по углю	по породе		
45.	12,9	640	обводненные	0,76	0,50	–	39,0	20	5
46.	15,3	480	обводненные	1,10	0,45	7,6	29,7	25	5
47.	9,6	560	сухие	–	0,46	8,5	34,6	20	4
48.	12,9	710	сухие	0,90	0,38	8,5	53,5	30	5
49.	9,8	450	влажные	1,30	–	–	38,0	25	4
50.	7,1	530	влажные	–	0,70	–	29,5	–	4
51.	9,8	490	обводненные	0,97	0,65	7,6	36,1	–	5
52.	9,6	650	сухие	1,13	0,60	5,7	34,5	20	5
53.	15,7	390	обводненные	0,85	0,43	11,7	45,6	–	6
54.	7,9	490	сухие	0,98	0,64	–	35,8	–	4
55.	12,9	550	сухие	1,10	0,54	9,8	46,5	25	5
56.	8,3	670	влажные	1,15	0,45	6,5	41,2	–	4
57.	7,8	430	сухие	0,61	–	–	28,9	25	4
58.	14,1	720	обводненные	0,65	0,48	7,6	36,8	–	6
59.	9,8	630	влажные	1,24	0,63	5,4	45,6	25	5
60.	7,1	570	обводненные	0,93	0,60	–	36,6	–	4

## СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Насонов, И. Д. Технология строительства подземных сооружений. Строительство горизонтальных и наклонных горных выработок/ И. Д. Насонов, В. И. Ресин, М. Н. Шуплик, В. А. Федюкин // Учеб. для ВУЗов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : АГН, 1998. – 317 с.

2. Правила безопасности при строительстве подземных сооружений (ПБ 03-428–02). Серия 03. Выпуск 12 / Коллектив авторов. – М. : Научно-технический центр «Промышленная безопасность», 2009. – 408 с.

3. Справочник инженера-шахтостроителя. В 2-х томах. Т 2. под общей ред. В. В. Белого. – М. : Недра, 1983. – 439 с.

4. Расчет параметров вентиляции при сооружении вертикальных стволов : методические указания по дисциплине «Сооружение вертикальных стволов» для студентов специальности 130406 «Шахтное и подземное строительство» и других горных специальностей / В. В. Першин, Н. И. Попов, А. И. Копытов, А. Б. Сабанцев. – Кемерово : Кузбасс. гос. техн. ун-т, 2010. – 20 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>ПРЕДИСЛОВИЕ</b> .....	3
<b>1. СПОСОБЫ ПРОВЕТРИВАНИЯ ТУПИКОВЫХ ВЫРАБОТОК</b> .....	4
<b>2. РАСЧЕТ РАСХОДА ВОЗДУХА ДЛЯ ПРОВЕТРИВАНИЯ ОДИНОЧНЫХ ТУПИКОВЫХ ВЫРАБОТОК</b> .....	5
<b>3. ВЫБОР СРЕДСТВ ПРОВЕТРИВАНИЯ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ И НАКЛОННЫХ ВЫРАБОТОК</b> .....	7
3.1 Выбор вентиляционного трубопровода и расчет его параметров .....	7
3.2 Расчет параметров вентилятора местного проветривания.....	13
3.3 Выбор вентилятора местного проветривания.....	13
<b>4. ТИПОВАЯ ЗАДАЧА С РЕШЕНИЕМ</b> .....	17
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ А</b> .....	21
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ Б</b> .....	25
<b>СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ</b> .....	29
<b>СОДЕРЖАНИЕ</b> .....	30