

О.А. Муха, И.И. Пугач

## **ВЛИЯНИЕ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ВОЗДУХОПОДАЮЩЕЙ СКВАЖИНЫ НА РАБОТУ ВЕНТИЛЯТОРА ГЛАВНОГО ПРОВЕТРИВАНИЯ**

*В статье изложена методика определения рационального диаметра скважины с учетом затрат на ее сооружение и проветривание сети горных выработок. По результатам исследований определено влияние диаметра воздухоподающей скважины на работу главной вентиляционной установки в условиях шахты «Пионер».*

---

### **ВПЛИВ АЕРОДИНАМІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПОВІТРОПОДАВАЛЬНОЇ СВЕРДЛОВИНИ НА РАБОТУ ВЕНТИЛЯТОРА ГОЛОВНОГО ПРОВІТРЮВАННЯ**

*У статті викладена методика визначення раціонального діаметра свердловини з урахуванням витрат на її спорудження та провітрювання мережі гірничих виробок. За результатами досліджень визначено вплив діаметра повітроподавальних свердловин на роботу головної вентиляційної установки в умовах шахти «Пионер».*

---

### **INFLUENCE OF AERODYNAMIC PARAMETERS OF VENTILATION BOREHOLE ON THE OPERATIONS OF MAIN FAN**

*In this article the method of determining the rational borehole diameter with depending on the cost of its construction and mine ventilation network is described. According to the research influence of ventilation borehole diameter on the work of main fan in conditions of "Pioneer" mine is determined.*

---

#### **ВВЕДЕНИЕ**

С ростом глубины разработки и неизбежным удалением горных работ от главных вскрывающих выработок возникает необходимость подачи большего количества воздуха в шахту. При увеличении длины воздухоподающих и вентиляционных выработок возрастает аэродинамическое сопротивление и количество вентиляционных сооружений шахтной вентиляционной сети, что в свою очередь приводит к значительным утечкам воздуха, в результате чего на объекты проветривания поступает недостаточное его количество. Это способствует ухудшению санитарно-гигиенических усло-

вий труда в очистных и подготовительных забоях, увеличению вероятности загазирования горных выработок.

Удаление фронта горных работ от воздухоподающих и вентиляционных стволов приводит к значительному увеличению суммарной депрессии сети горных выработок, что требует применения вентиляторов главного проветривания большей мощности.

В связи со значительным потреблением электроэнергии главными вентиляционными установками (ГВУ) и значительными капитальными затратами для их переоборудования возникает необходимость раз-

работки мероприятий по снижению потерь давления в шахтной вентиляционной сети.

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЙ

Анализ направлений по повышению эффективности вентиляции шахты показал, что на сегодняшний день широкое распространение получает проветривание горных выработок при помощи скважин диаметром от 0,5 до 4,0 м и глубиной до 1200 м, буримых с поверхности [1]. Главным преимуществом данного способа по-

вышения эффективности проветривания горных выработок является возможность подачи свежего воздуха вблизи его потребителей.

В данной работе предлагается внедрение воздухоподающей скважины, пробуренной на пласт  $l_3$ , с целью уменьшения потерь давления в сети горных выработок при работе вентилятора главного проветривания.

Схема вентиляции для проектного решения представлена на рис. 1.

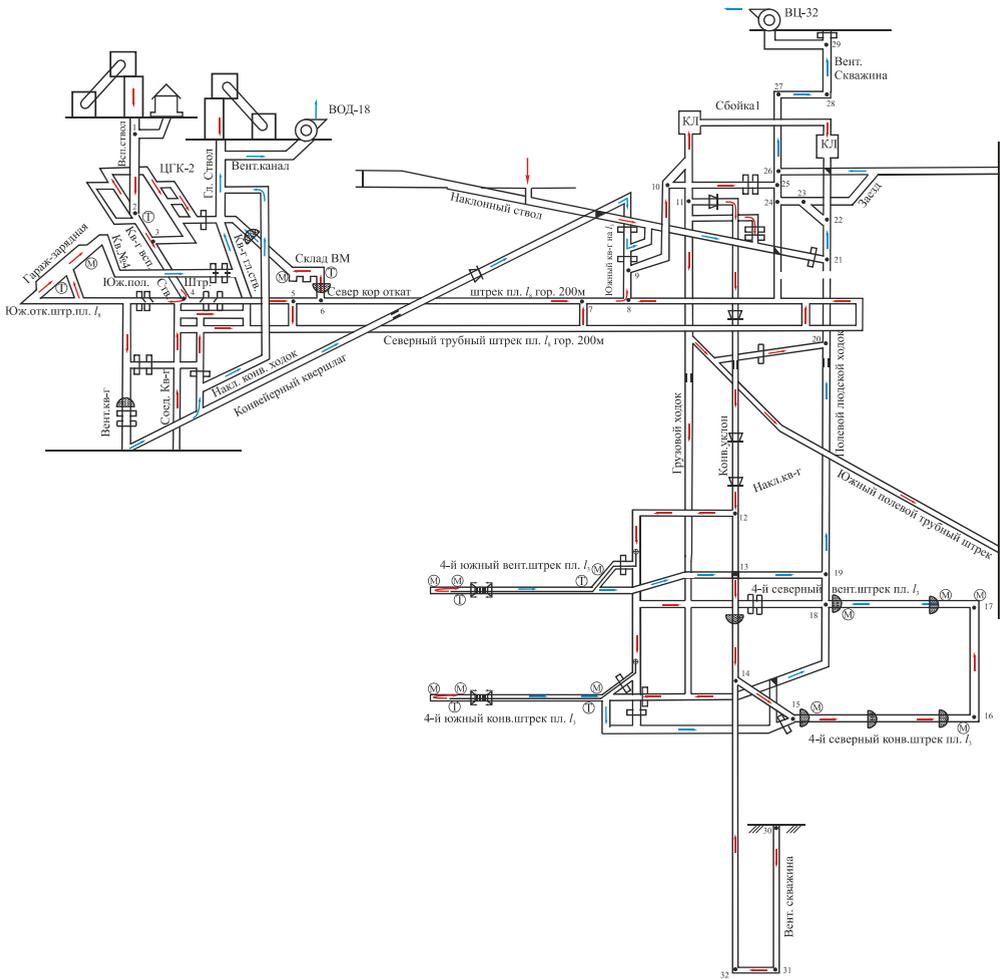


Рис. 1. Проектная схема вентиляции шахты

Проведение вентиляционной скважины к выработкам разрабатываемого пласта позволяет уменьшить длину труднопроветриваемого направления на 14,1% (с 8580 м по базовому варианту до 7370 м по проекту).

Проведение вентиляционной скважины связано со значительными капитальными затратами. При этом существует закономерность: чем больше диаметр скважины, тем значительнее будут капиталовложения. Однако уменьшение диаметра приводит к увеличению аэродинамического сопротивления и, как следствие, к большим затратам электроэнергии, потребляемой вентилятором главного проветривания.

Коэффициенты аэродинамического сопротивления вентиляционных скважин приведены в табл. П.7.8 [2].

Исходя из вышеизложенного, в работе особое внимание уделяется вопросам влияния параметров вентиляционной скважины на работу главной вентиляционной установки и обоснования диаметра с учетом экономических показателей.

Цель данной работы – обеспечение сети горных выработок необходимым количеством воздуха путем обоснования рациональных параметров вентиляционной скважины.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1) установить влияние параметров вентиляционной скважины на работу главной вентиляционной установки;

2) определить зависимости затрат на сооружение скважины и затрат на электроэнергию, потребляемую главной вентиляционной установкой, от диаметра скважины;

3) определить рациональные параметры вентиляционной скважины для условий шахты «Пионер».

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Целью проведения вентиляционной скважины является снижение депрессии

труднопроветриваемого направления. Определение депрессии направления необходимо произвести для различных диаметров скважин.

Исследование влияния диаметра скважины на аэродинамическое сопротивление шахтной вентиляционной сети осуществляется в следующей последовательности:

– составляется маршрут труднопроветриваемого направления (см. рис. 1);

– определяется депрессия направления при попеременном переборе диаметров скважины в диапазоне от 0,4 до 4,0 м;

– рассчитывается значение аэродинамического сопротивления шахтной сети;

– производится построение совмещенных аэродинамических характеристик главной вентиляционной установки и шахтной вентиляционной сети;

– определяется фактический режим работы ГВУ с определением фактических значений расхода воздуха, депрессии и коэффициента полезного действия вентилятора.

Произведем расчет по вышеизложенной методике для скважины диаметром 4,0 м. Результаты расчета депрессии труднопроветриваемого направления представлены в табл. 1.

Депрессия вентилятора  $h_g$  по каждому направлению определяется по формуле

$$h_g = 1,2h_{n,g} + h_{к,y}, \text{ Па}$$

где  $h_g$  – депрессия подземных выработок направления, Па;

$h_{к,y}$  – депрессия воздухонагревателей и калориферной установки, Па. При отсутствии данных принимается равной  $0,1 h_{n,g}$ .

Депрессия вентилятора составит

$$h_g = 1,2 \cdot 1744 + 0,1 \cdot 1744 = 2267,2 \text{ Па.}$$

Аэродинамическое сопротивление шахтной сети, на которую работает вентилятор

$$R_{ш} = \frac{h_g}{Q_g^2}, \text{ Н} \cdot \text{с}^2 / \text{м}^6,$$

$$R_{ш} = \frac{2267,2}{12321} = 0,184 \text{ Н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^6.$$

Для построения аэродинамической характеристики сети задаем произвольные

значения расхода воздуха  $Q_i$  ( $\text{м}^3/\text{с}$ ), и рассчитываем депрессию  $h_i$  (Па):

$$h_i = R_{ш} Q_i^2, \text{ даПа.}$$

#### РАСЧЕТ ДЕПРЕССИИ ТРУДНОПРОВЕТРИВАЕМОГО НАПРАВЛЕНИЯ

Таблица 1

ветви	Номер узлов		Сопротивление, $\text{Н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^6$	Сечение, $\text{м}^2$	Длина, м	Альфа, $\text{Н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^4$	Расход, $\text{м}^3/\text{с}$	Скорость, $\text{м}/\text{с}$	Депрессия, Па	$k_{\phi}$
1	30	31	0,015	12,6	750	0,0030	35,64	2,8	19,7	3,80
3	31	32	0,014	12,0	100	0,020	35,64	3,0	17,7	3,54
4	32	14	0,084	12,0	600	0,020	35,64	3,0	106,1	3,54
5	14	15	0,028	12,0	200	0,020	17,08	1,4	8,1	3,54
6	15	16	0,278	11,2	1400	0,024	18,22	1,6	92,3	3,54
7	16	17	1,072	2,7	220		6,74	2,5	48,7	3,54
8	17	18	0,266	11,2	1400	0,023	18,22	1,6	88,4	3,54
9	18	19	0,082	14,2	1000	0,018	27,94	2,0	64,2	3,54
10	19	20	0,048	14,2	580	0,018	40,89	2,9	79,8	3,54
11	20	21	0,026	9,6	100	0,021	40,89	4,3	42,7	3,54
12	21	22	0,005	9,6	20	0,022	42,64	4,4	9,7	3,54
13	22	23	0,011	9,6	40	0,022	44,14	4,6	20,9	3,54
14	23	24	0,011	9,6	40	0,022	46,14	4,8	22,8	3,54
15	24	25	0,052	10,2	250	0,020	41,64	4,1	90,6	3,54
16	25	26	0,002	14,2	20	0,019	44,39	3,1	3,4	3,54
17	26	27	0,007	12,0	50	0,020	83,29	6,9	48,3	3,54
18	27	28	0,005	14,0	50	0,020	84,79	6,1	34,0	3,54
19	28	29	0,120	15,9	550	0,058	88,79	5,6	946,0	3,8
					7370				1744,0	

Построение совмещенных характеристик ШВС и ГВУ для всех значений диаметров вентиляционной скважины представлено на рис. 2.

Анализ рис. 2 показывает, что с увеличением диаметра скважины аэродинамическая характеристика шахтной вентиляционной сети выполаживается, что приводит к увеличению подачи воздуха в сеть горных выработок при общем снижении депрессии вентиляторной установки.

Как видно из результатов расчета аэродинамического сопротивления шахтной сети  $R_{ш}$  (табл. 2), основные изменения происходят при значениях диаметра скважины в диапазоне от 1,8 до 3,0 м, а выше этого значения изменение диаметра скважины имеет малое влияние на значение  $R_{ш}$ .

Как известно, увеличение диаметра воздуховода приводит к снижению коэффициента аэродинамического сопротивления трению. Обработав значения коэффициента  $\alpha$ , представленные в табл. 2, была получена зависимость, изображенная на рис. 3.

Выбор значений коэффициента аэродинамического сопротивления трению осуществлялся исходя из срока эксплуатации скважины. Согласно календарному плану развития горных работ по пласту  $l_3$  был определен срок отработки оставшихся запасов угля в панели, который составил 17 лет. Поэтому значения коэффициента  $\alpha$  были приняты из последней строки табл. П.7.8 [1].

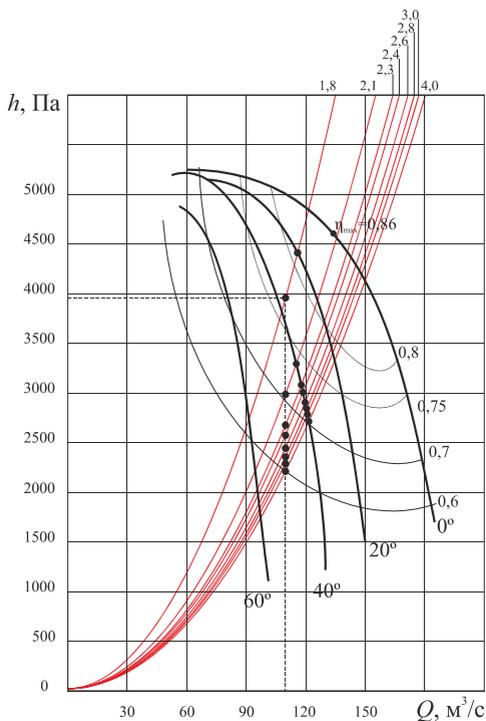


Рис. 2. Совместные аэродинамические характеристики главной вентиляторной установки ВЦ-32 и шахтной вентиляционной сети при различных диаметрах вентиляционной скважины

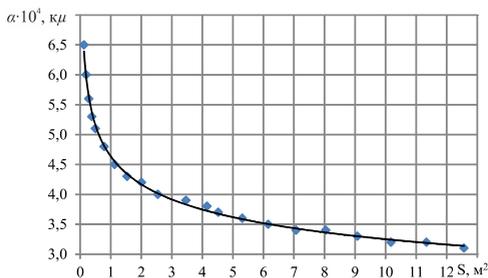


Рис. 3. Зависимость коэффициента аэродинамического сопротивления трению скважины от ее площади поперечного сечения

Переход от диаметра вентиляционной скважины к сечению был осуществлен по

$$формуле \quad S = \frac{\pi \cdot D^2}{4}, \quad \text{м}^2,$$

где  $D$  – диаметр вентиляционной скважи-

ны, м.

Зависимость коэффициента аэродинамического сопротивления трения от сечения вентиляционной скважины описывается уравнением

$$\alpha = 4,6388 \cdot S_{СКВ}^{-0,154}.$$

Величина достоверности аппроксимации составила  $R^2 = 0,9976$ .

После определения влияния сечения скважины на величину коэффициента  $\alpha$  в работе была исследована зависимость давления вентилятора от площади поперечного сечения скважины (рис. 4).

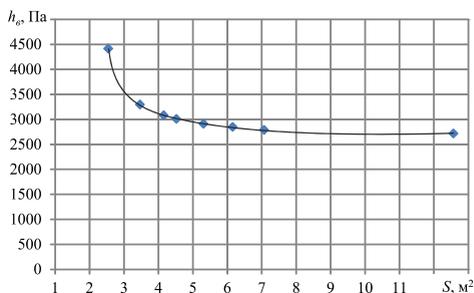


Рис. 4. Зависимость давления вентилятора от площади поперечного сечения вентиляционной скважины

Проанализировав вышеприведенную зависимость, можно сделать вывод о том, что на данном графике можно выделить три зоны:

1) сечение скважины менее  $2,5 \text{ м}^2$  – характеризуется значительными потерями давления в скважине, которые соизмеримы с потерями давления во всей шахтной вентиляционной сети, причем с уменьшением сечения депрессия скважины начинает превышать технические возможности вентиляторов главного проветривания;

2) сечение скважины находится в диапазоне от  $2,5$  до  $9,0 \text{ м}^2$  – в этой зоне наблюдается плавная корреляционная зависимость потерь давления на ГВУ от сечения вентиляционной скважины;

3) сечение скважины более  $9,0 \text{ м}^2$  – практически не наблюдается влияние сечения скважины на работу вентилятора главного проветривания.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА РЕЖИМОВ РАБОТЫ ВЕНТИЛЯТОРА ГЛАВНОГО  
ПРОВЕТРИВАНИЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ДИАМЕТРА ВОЗДУХОПОДАЮЩЕЙ СКВАЖИНЫ

Таблица 2

Параметр	Значение параметра								
	1,8	2,1	2,3	2,4	2,6	2,8	3	4	
$d_{скв}, м$	1,8	2,1	2,3	2,4	2,6	2,8	3	4	
$\alpha \cdot 10^4, км$	4,0	3,9	3,8	3,7	3,6	3,5	3,4	3,1	
$S, м^2$	2,54	3,46	4,15	4,52	5,31	6,16	7,07	12,57	
$h, Па$	1375,29	620,389	383,566	301,885	196,848	132,122	90,901	19,7	
$\sum h, Па$	3099	2344	2107	2026	1921	1856	1815	1744	
$h_в, Па$	4028,9	3047,5	2739,6	2633,5	2496,9	2412,8	2359,2	2266,6	
$d_{скв}, м$	1,8	2,1	2,3	2,4	2,6	2,8	3,0	4,0	
$Q_в, м^3/с$	111	111	111	111	111	111	111	111	
$R_{из}, Н \cdot с^2/м^6$	0,327	0,247	0,222	0,214	0,203	0,196	0,191	0,184	
$Q_в, м^3/с$	0	0	0	0	0	0	0	0	
	30	294	223	200	192	182	176	172	166
	60	1177	890	800	769	730	705	689	662
	90	2649	2003	1801	1731	1641	1586	1551	1490
	120	4709	3562	3202	3078	2918	2820	2757	2649
	150	7357	5565	5003	4809	4560	4406	4308	4139
$h_в^ф, Па$	4412	3295	3078	3007	2907	2845	2786	2714	
$Q_в^ф, м^3/с$	115,7	115,0	117,5	118,5	119,5	120,1	120,7	121,3	
$\eta_в$	0,81	0,74	0,73	0,725	0,72	0,715	0,71	0,7	

РАСЧЕТ ГОДОВЫХ ЗАТРАТ НА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЮ, ПОТРЕБЛЯЕМУЮ  
ВЕНТИЛЯТОРОМ ГЛАВНОГО ПРОВЕТРИВАНИЯ ВЦ-32

Таблица 3

Диаметр скважины $d_{скв}, м$	1,8	2,1	2,3	2,4	2,6	2,8	3,0	4,0
Фактическая депрессия $h_{ф}, Па$	4412	3295	3078	3007	2907	2845	2786	2714
Фактический расход $Q_{ф}, м^3/с$	115,7	115,0	117,5	118,5	119,5	120,1	120,7	121,3
КПД двигателя, $\eta$ , доли ед.	0,81	0,74	0,73	0,725	0,72	0,715	0,71	0,70
Мощность $N$ , кВт	413,5	280,4	264,0	258,3	250,1	244,3	238,8	230,4
Угол установки направляющего аппарата $\theta$ , град	20	40	40	40	40	40	40	40
Суточный расход электроэнергии, кВт	9924	6730	6336	6200	6003	5863	5730	5531
Годовой расход электроэнергии, кВт	3622080	2456343	2312775	2263049	2191036	2140107	2091466	2018705
Годовые затраты на электроэнергию, грн	3524283	2390022	2250330	2201946	2131878	2082324	2034997	1964200

Изменение диаметра вентиляционной скважины влияет на стоимость проведения вертикальной выработки и на затраты, связанные с потребляемой ГВУ электроэнергией. Определим затраты на электроэнергию, потребляемую вентилятором главного проветривания, в зависимости от изменения

диаметра воздухоподающей скважины.

Расход электроэнергии, затрачиваемой вентилятором главного проветривания, определяется по формуле

$$E_{в,i} = \frac{Q_в h}{102\eta} \cdot 24 \cdot 365, \text{ кВт},$$

где  $Q_в$  – расход воздуха по воздуховоду,  $м^3/с$ ;

$h$  – потери давления в воздуховоде,  $кгс/м^2$ ;

24 – коэффициент, учитывающий количество часов непрерывной работы вентилятора;

365 – коэффициент, учитывающий количество дней работы вентилятора в течение года;

102 – коэффициент перевода внесистемных единиц измерения в систему СИ;

$\eta$  – коэффициент полезного действия вентиляторной установки.

Результаты расчета потребляемой ГВУ электроэнергии в условиях шахты «Пионер» представлены в табл. 3.

Результаты расчета затрат на проведение вентиляционной скважины приведены в табл. 4.

РАСЧЕТ ЗАТРАТ НА ПРОВЕТРИВАНИЕ ПАНЕЛИ (ПЕРИОД ОТРАБОТКИ 17 ЛЕТ)  
С ПОМОЩЬЮ ВОЗДУХОПОДАЮЩЕЙ СКВАЖИНЫ ( $D_{скв.} = 1,8 - 4,0$  м)

Таблица 4

Диаметр скважины $d_{скв.}$ м	1,8	2,1	2,3	2,4	2,6	2,8	3	4
Площадь поперечного сечения скважины $S, м^2$	2,54	3,46	4,15	4,52	5,31	6,16	7,07	12,57
Кэф. стоим. проведения скважины, учитывающий постоянные затраты независимо от $S$ на 1 м, грн/м	18180	18180	18180	18180	18180	18180	18180	18180
Кэф. стоим. проведения скважины, учитывающий постоянные затраты независимо от $S$ на 1 $м^3$ , грн/ $м^3$	775	775	775	775	775	775	775	775
Поправочный коэффициент, $f_n$	1,076	1,076	1,076	1,076	1,076	1,076	1,076	1,076
Кэф. стоим. проведения скважины, учитывающий период работы шахты, $\rho$	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17
Стоимость проведения 1 м скважины $k_n$ , грн	25379	26276	26951	27311	28078	28906	29795	35161
Стоимость проведения скважины, тыс. грн	19035	197075	202135	204835	210585	216795	223465	26371
Затраты на электроэнергию при отработке панели (17 лет), тыс. грн	59913	406303	38256	37433	36242	35400	34594	33391
Годовая экономия электроэнергии по сравнению с базовым вариантом, тыс. грн	1050	2184	2324	2372	2442	2492	2539	2610
Экономия электроэнергии по сравнению с базовым вариантом при отработке панели (17 лет), тыс. грн	17850	37132	39507	40329	41521	42363	43168	44371
Затраты на проветривание с помощью скважины при отработке панели (17 лет), тыс. грн	78947	60338	58469	57916	57300	57079	56941	59762

Затраты на электроэнергию, расходуемую вентилятором главного проветривания ВЦ-32, определяются по формуле

$$Z_э = E_{ВМ} \cdot c_э, \text{ грн,}$$

где  $c_э$  – стоимость 1 кВт·ч потребленной электроэнергии, грн/кВт; для предприятий

горнодобывающей промышленности  
 $c_2 = 0,973$  грн/кВт.

Стоимость проведения 1 м воздухоподающей скважины определяем по формуле:

$$k_n = (C_1 + C_2 \cdot S) \cdot f_n \cdot \rho, \text{ грн,}$$

где  $C_1$  – коэффициент стоимости проведения скважины, учитывающий постоянные затраты на 1 м, независимые от площади поперечного сечения, грн/м;

$C_2$  – коэффициент стоимости проведения скважины, учитывающий постоянные затраты на 1 м<sup>3</sup>, независимые от площади поперечного сечения, грн/м<sup>3</sup>;

$S$  – площадь поперечного сечения скважины, м<sup>2</sup>;

$f_n$  – поправочный коэффициент, учитывающий глубину работ, обводненность и выбороопасность забоя

$$f_n = k_H \cdot k_{o.3} \cdot k_{\rho},$$

где  $k_H$  – коэффициент глубины работ

$$k_H = 0,99 + 0,12 \cdot H,$$

где  $H$  – средняя глубина расположения выработки, км;

$k_{o.3}$  – коэффициент обводненности забоя;

$k_{\rho}$  – коэффициент выбороопасности забоя;

$\rho$  – коэффициент, учитывающий период строительства или работы шахты.

Графическое определение рационального диаметра вентиляционной скважины представлено на рис. 5.

Исходя из полученных результатов (рис. 5), можно сделать вывод о том, что рациональным диаметром вентиляционной скважины является значение 3,0 м для условий отработки оставшихся запасов угля южной панели пласта  $l_3$  шахты «Пионер».

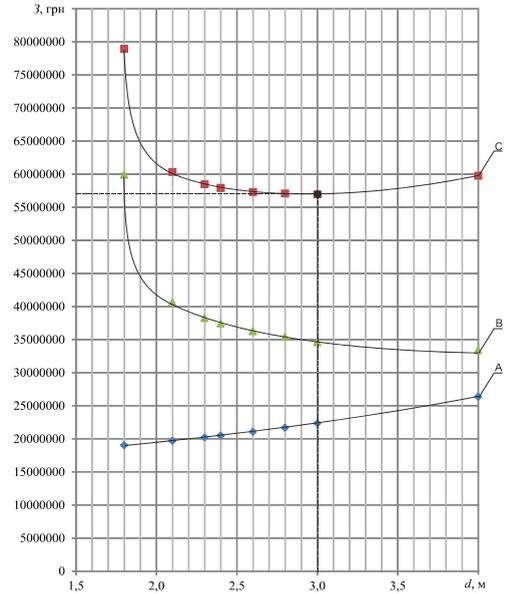


Рис. 5. Определение рационального диаметра воздухоподающей скважины по затратам на проветривание панели и сооружение скважины: А – стоимость сооружения скважины; В – затраты на электроэнергию, потребляемую вентилятором главного проветривания ВЦ-32; С = А + В

## ВЫВОДЫ

В ходе выполнения работы были получены следующие результаты:

1) Разработана методика определения рационального диаметра скважины с учетом затрат на ее сооружение и затрат на проветривание сети горных выработок.

2) Определено влияние диаметра дегазационной скважины на работу главной вентиляционной установки в условиях шахты «Пионер».

3) Получены следующие зависимости:

– коэффициента аэродинамического сопротивления скважины от площади поперечного сечения скважины;

– давления вентилятора от площади поперечного сечения скважины;

– характеристики шахтной вентиляционной сети от диаметра воздухоподающей скважины;

– затрат на электроэнергию, потребляемую вентилятором главного проветривания ВЦ-32 от диаметра воздухоподающей скважины.

Практическая ценность полученных результатов заключается в минимизации за-

трат на сооружение и эксплуатацию воздухоподающей скважины при обеспечении устойчивого проветривания сети горных выработок шахты.



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Клебанов Ф.С. *Воздух в шахте* / Ф.С. Клебанов. – М., 1995. – 607 с.

2. *Руководство по проектированию вентиляции угольных шахт.* – К.: Основа, 1994. – 312 с.

## ОБ АВТОРАХ

*Муха Олег Анатольевич – к.т.н., доцент кафедры аэрологии и охраны труда Национального горного университета.*

*Пугач Иван Иванович – к.т.н., доцент кафедры аэрологии и охраны Национального горного университета.*

