

В.Г. Перепелица, д-р техн. наук, проф.,  
Н.С. Панов, канд. техн. наук  
(ИГТМ НАН Украины)

Д.П. Гуня, канд. техн. наук,  
В.В Шевченко, канд. техн. наук  
(АП «Шахта им. А.Ф. Засядько»)

## **ЭЖЕКТОР-ВЕНТИЛЯТОР ДЛЯ ПРОВЕТРИВАНИЯ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК И ДЕГАЗАЦИИ ВЫРАБОТАННОГО ПРОСТРАНСТВА ВЫСОКОНАГРУЖЕННЫХ ЛАВ**

Розглянуті питання розробки ежекторної пневматичної вентиляційної установки типу ЕПВ для провітрювання гірничих виробок і дегазації виробленого простору високонавантажених лав. Особливу увагу приділено дослідженню робочих характеристик експериментальних зразків трьох модифікацій струменевих насосів та ежектора-вентилятора ЕПВ на АП «Шахта ім. О.Ф. Засядько» в Донбасі.

## **JET VENTILATOR FOR AIRING OF MINE WORKINGS AND DEGASSING OF MINED-OUT AREAS IN HIGHLY-LOADED LONG FACES**

This article considers issues concerning designing of pneumatic jet ventilating station, EPV type, used for airing mine tunnels and degassing mined-out areas in highly-loaded faces. The authors studied operating characteristics of three pilot models of the jet pumps and EPV jet ventilator in the LHC "A.S.Zasyadko's Mine".

Одним из эффективных мероприятий по борьбе с газом в тупиках погашаемых вентиляционных выработок является изолированный отвод метана из тупиков погашения за пределы выемочных участков по трубам большого диаметра с помощью центробежных вентиляторов. Однако их использование связано с рядом трудностей и этот метод снижения газообильности выемочных участков путем изолированного отвода метана из тупиков погашения или выработанного пространства применяется сравнительно редко [1,2].

В ИГТМ НАН Украины проведены поисковые работы по разработке способов и технических средств снижения концентрации метана на сопряжении лавы с вентиляционным штреком, обеспечивающих безопасные условия труда. Ниже излагаются результаты разработки эжекторного пневматического вентилятора типа ЭПВ предназначенного для проветривания и дегазации горных выработок шахт.

Конструктивно вентиляционная эжекторная установка состоит из эжектора (струйного насоса) и аэродинамических устройств, обеспечивающих требуемые аэродинамические параметры вентилятора. В разработанном устройстве используются пневматические эжекторы с кольцевой щелью, в которых предусматривается регулировка геометрических параметров щели кольцевого сопла для изменения в заданных пределах потребляемого сжатого воздуха и требуемой производительности вентиляционных установок.

Эжекторные вентиляционные установки должны работать при давлении сжатого воздуха 0,3...0,5 МПа и его расходе не более 10 м<sup>3</sup>/мин, обеспечивать производительность вентилятора 40... 100 м<sup>3</sup> /мин. К эжектору-вентилятору

подсоединяется всасывающий трубопровод диаметром 0,53 м, длина которого в процессе работы может изменяться в пределах от 300 до 500 метров. Коэффициент эжекции должен находиться в пределах 12...30. Технические параметры пневматических эжекторных устройств и геометрические параметры их установки в шахтных условиях должны соответствовать требованиям действующих «Правил безопасности в угольных шахтах».

В процессе выполнения данной работы проведен инженерный расчет основных параметров эжекторов - струйных насосов с кольцевой щелью. На основании расчета определены основные конструктивные данные основных узлов эжектора – смесительной камеры, диффузора и конфузора. Основное внимание уделено форме и величине щели, соответствующей требованиям формирования пограничного

слоя в соплах. Рассмотрены графики изменения давления по длине эжектора, углы раскрытия струи, диффузора и расширяющейся части сопла. Теоретические исследования струйного насоса позволили повысить его производительность в 1,7...2 раза путем использования аэродинамической «вставки».

Согласно расчету изготовлены четыре экспериментальных образца эжекторов - струйных насосов с внутренним диаметром 50, 75 и 100 мм. В эжекторе «сотка» использовалась аэродинамическая «вставка», включающая конфузор, специальную камеру и диффузор. Кроме того, в эжекторе Э-75 применена другая конструктивная особенность - для увеличения разрежения использовалась двухступенчатая схема струйного насоса. В эжекторе Э-50 изменена форма щели и, следовательно, угол раскрытия потока для повышения эффективности его работы.

На основании выполненных теоретических и лабораторных исследований были изготовлены экспериментальные образцы трех модификаций эжекторов (струйных насосов), внешний вид которых показан на рис.1.

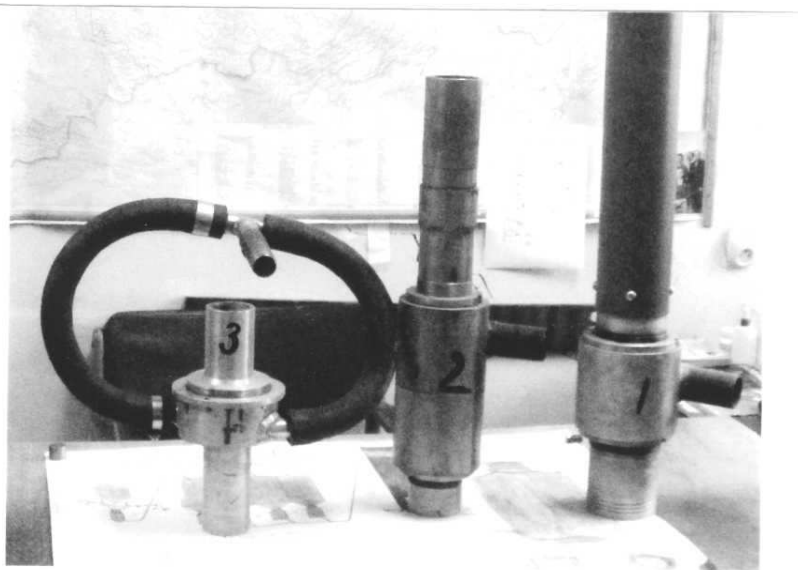


Рис. 1 – Внешний вид экспериментальных образцов эжекторов – струйных насосов: с внутренним диаметром 1-100 мм; 2-75 мм; 3 - 50мм

Заводским исследованиям подвергались три образца струйных насосов (Э-100, Э-75 и Э-50 с внутренним проходным диаметром соответственно 100, 75 и 50 мм), предназначенных для использования в эжекторных вентиляционных устройствах.

Как указывалось выше, экспериментальный образец эжектора Э-75 выполнен по двойной схеме с целью увеличения депрессии на его входе, а в эжекторе Э-50 основное внимание уделено форме и величине кольцевой щели, соответствующей аэродинамическим требованиям формирования пограничного слоя в соплах.

Целью испытаний являлось выявление технических характеристик каждого струйного насоса - эжекторной системы в отдельности на соответствие требованиям применения в установке типа ЭПВ для дегазации выработанного пространства добычного участка в условиях АП «Шахта им. А.Ф. Засядько», а также сравнительная оценка их технических характеристик.

Экспериментальные исследования проведены в период с 02 мая по 08 мая 2005 г. в заводских условиях ГАК "Титан" г. Армянск (цех подготовки сырья).

Для проведения экспериментальных исследований использовалась заводская магистраль сжатого воздуха. В качестве измерительных приборов для измерения расхода сжатого воздуха и давления всасывания на входе заборного устройства использовались анемометр типа АПР-2 и микропроцессорный измеритель атмосферного давления типа МБЦ-5. Для измерения расхода сжатого воздуха на выходе эжекторных систем были установлены вентиляционные трубы диаметром 200 мм и длиной 7,0 м. Результаты исследований струйных насосов - эжекторов отражены в таблице 1. Расход сжатого воздуха регулировался плавным изменением кольцевой щели в пределах 0,1-1,6 мм, при этом вход эжектора перекрывался заслонкой.

При экспериментальной проверке эжектора по двойной схеме Э-75 выполнено два режима - при величине кольцевой щели 0,8 мм (4 оборота выходного патрубка) и 1,0 мм (5 полных оборотов). Технические характеристики основного эжектора с аэродинамической вставкой Э-100 "сотка" также проверены при двух режимах - щель 0,8 и 1,0 мм.

Программой исследований предусматривалось проведение экспериментальных исследований эжектора Э-100 в составе пневмотранспортной установки, предназначенной для транспортирования сыпучего материала - ильменита по схеме "куча" - бункер. Дальность по горизонтали составляла 30 м, по вертикали 10 м, использовался трубопровод диаметром 100 мм. Эксперимент не проведен в полном объеме из-за дефекта в транспортном трубопроводе.

В процессе проведения экспериментальных исследований установлено:

для создания значительных разрежений необходимо применять многоступенчатые струйные насосы, например, эжектор Э-75;

эффективность работы эжектора во многом зависит от положения сопла относительно смесительного участка и его длины. На работу сопла существенное влияние оказывает пограничный слой;

аэродинамическая вставка увеличивает к.п.д. эжектора в 1,7-2 раза (Э-100

"сотка").

Эжектор пневматический вентиляционный типа ЭПВ представляет собой вентиляционное устройство, которое использует энергию сжатого воздуха, выходящего из центрального или кольцевого сопла.

Таблица 1 – Экспериментальные исследования эжекторов Э-50, Э-75 и Э-100

Щель, мм	Давление сжатого воздуха, МПа	Скорость воздуха, м/с	Расход сжатого воздуха, м <sup>3</sup> /мин	$P_A$ на входе эжектора, мм рт.ст.	Депрессия $h$ на входе, мм рт.ст.	Примечания
Эжектор Э-50						
0,2	0,42	1,5	2,8	713,8	45	$h = P_{AT} - P_A = 759,0 - P_A$
0,4	0,41	1,9	3,6	697,6	61	
0,6	0,42	2,4	4,5	670,1	89	
0,8	0,43	3,0	5,7	654,3	105	
1,0	0,42	3,4	6,5	634,0	125	
1,2	0,43	3,7	7,0	618,0	141	
1,4	0,42	4,0	7,6	609,0	150	
1,6	0,41	5,1	9,7	598,0	161	
Эжектор Э-75						
0,8	0,41	4,5	8,5	667,0	92	$h = 759,0 - P_A$
1,0	0,42	5,1	9,7	648,1	111	
Эжектор Э-100						
0,8	0,42	5,0	9,7	648,0	110	$h = 759,0 - P_A$
1,0	0,41	5,9	11,0	622,1	137	

Впереди сопла воздух движется под действием скоростного напора, создаваемого сжатым (эжектирующим) воздухом, на передней стороне эжектора создается зона пониженного давления, куда засасывается эжектируемый воздух. Затем эжектируемый и эжектирующий потоки смешиваются и под действием, создаваемого при этом напора движутся на расстояние, обусловленное конструкцией эжектора и аэродинамическим сопротивлением трубопровода.

На основании выполненных исследований, результаты которых изложены выше, обоснованы рациональные аэродинамические параметры эжекторного устройства и создан экспериментальный эжектор-вентилятор типа ЭПВ, конструктивные особенности которого описываются ниже. Внешний вид эжекторного устройства ЭПВ приведен на рис. 2, а его схема изображена на рис. 3.

Эжектор пневматический вентиляционный типа ЭПВ состоит из корпуса-коллектора диаметром 140 мм, штуцера и соосно установленных на резьбе входного и выходного патрубков диаметром 100 мм, образующих при их сопряжении кольцевую щель заданной величины (0,1...0,4 мм). Для увеличения производительности эжекторной установки эжектор соосно помещен в цилиндрический кожух диаметром 0,53 м. Это позволяет за счет разрежения среды между корпусом эжектора и кожухом эжектировать дополнительное количество воздуха. Для предохранения от загрязнения эжекторов в их входные штуцеры вмонтированы фильтрующие сетки. Входная и выходная части кожуха имеют насадки диаметром 0,53 м для подсоединения к вентиляционному трубопроводу.



Рис. 2 – Внешний вид эжекторного устройства типа ЭПВ

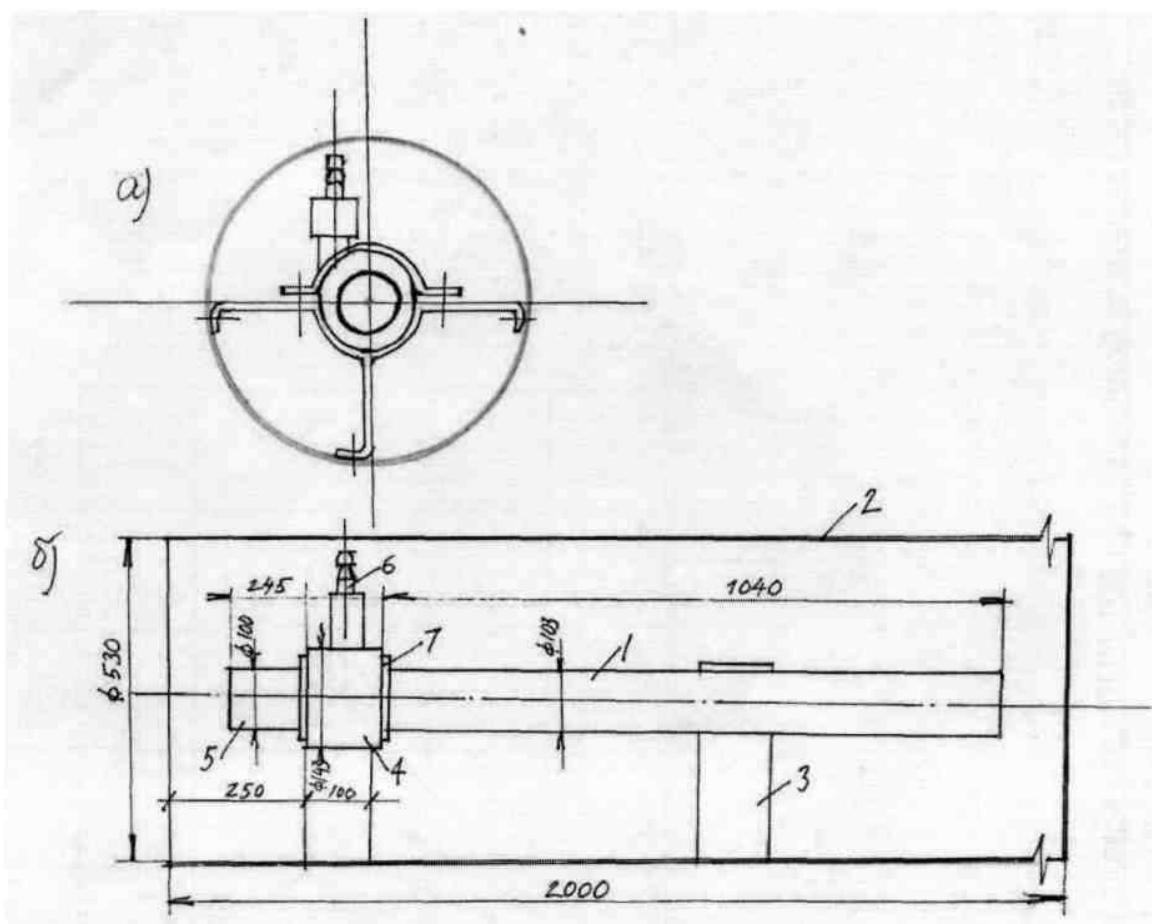
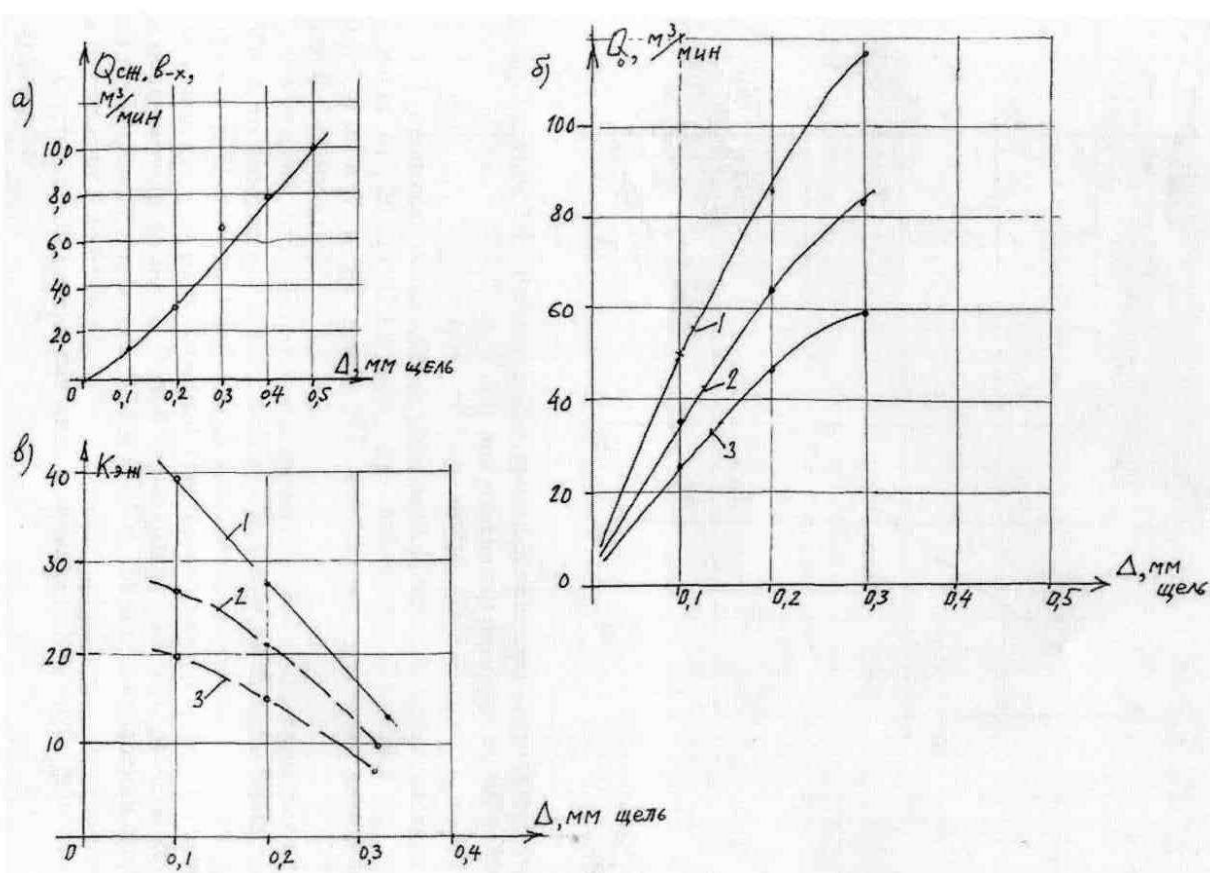


Рис. 3 – Эжектор пневматический вентиляционный типа ЭПВ.  
Схема конструкции.

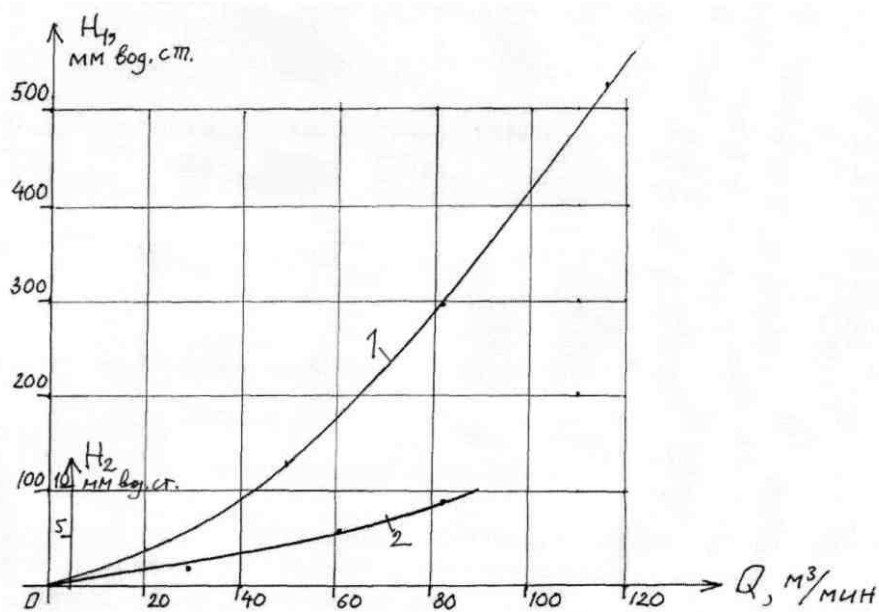
На шахте им. А.Ф. Засядько были проведены экспериментальные исследования эжектора вентиляционного типа ЭПВ. На рис. 4 представлены опытные характеристики расхода сжатого воздуха при изменении величины щели  $Q_{сж} = f(\Delta)$ , общего расхода воздуха  $Q_0 = \varphi(\Delta)$  от величины щели при трех положениях заслонки, установленной на входе эжектора. Использовались три положения заслонки - труба полностью открыта, закрыта на половину и закрыта на 2/3 части входного сечения.

Кроме того, получена характеристика-зависимость коэффициента эжекции от ширины щели при трех положениях регулятора. Рабочая характеристика эжектора-вентилятора  $Q_P = f(h)$ , представлена на рис. 5.



а)  $Q_{сж} = \varphi(\Delta)$ ; б)  $Q_{сж} = f(\Delta)$ ; в)  $K_{эж} = L(\Delta)$

Рис. 4 – Опытные характеристики эжектора-вентилятора типа ЭПВ



1 – на входе эжектора, 2 – на входе ЭПВ

Рис. 5 – Рабочая характеристика эжектора-вентилятора типа ЭПВ  
 $Q_0 = f(h)$  при изменении размеров щели

В процессе эксперимента установлено, что изменение расхода воздуха составило от 20 до 120 м<sup>3</sup>/мин при изменении депрессии на входе эжектора 0...520 мм в.ст., а на входе ЭПВ потери давления находились в пределах 0...10 мм в.ст.

Учитывая, что рабочая длина трубопровода будет изменяться в пределах 100-500 м, то необходимо исследовать аэродинамическую характеристику вентиляционного трубопровода. Необходимо установить оптимальные параметры трубопровода, при которых разработанный эжектор-вентилятор будет обеспечивать требуемую производительность. С этой целью были проведены расчеты потерь давления на трубопроводе диаметром 0,53 м длиной 100 м при изменении скорости воздуха в пределах от 0 до 6 м/с.

Согласно [3] потери давления в металлическом трубопроводе определяются по формуле:

$$P = \sum(Rl + Z), \text{ мм рт.ст} \quad (1)$$

где  $R = \frac{\lambda \gamma v^2}{d 2g}$ ;

$\lambda$  - коэффициент аэродинамического сопротивления;

$d$  - диаметр трубопровода, м;

$v$  - скорость движения, м/с;

$\frac{\gamma v^2}{2g}$  - динамический напор, кгс/м<sup>2</sup>;

$Z$  - потери давления на местные сопротивления.

Коэффициент аэродинамического сопротивления можно найти из выражения:

$$\lambda = 0,11 \left( \frac{K_s}{d} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25}, \quad (2)$$

где  $K_s$  - коэффициент шероховатости стенок трубы;

$Re = \frac{vd}{\nu}$  - число Рейнольдса;

$\nu$  - коэффициент кинематической вязкости ( $15 \times 10^{-6}$ ), м<sup>2</sup>/с.

Результаты расчета, выполненного по приведенным формулам, представлены в таблице 2. Для оценки точности полученных данных были проведены повторные расчеты депрессии по другой формуле [4]:

$$h = \lambda \frac{PL}{S^2} Q^2, \text{ кГс/м}^2 \quad (3)$$

где  $Q$  - расход воздуха, м<sup>3</sup>/с.

Аэродинамическое сопротивление трубы (длиной  $L$ , сечением  $S$ , периметром сечения  $P$ ) определяется выражением:

$$R = \lambda \frac{PL}{S^2}, \text{ кГс} \cdot \text{сек}^2 / \text{м}^3, \quad (4)$$

Коэффициент аэродинамического сопротивления находится по формуле:

$$\lambda = \frac{0,015}{\left( 1,74 + 21 \frac{d}{Re} \right)} \quad (5)$$

Результаты расчета депрессии по приведенным формулам показаны в таблице 2 графа 8, где нетрудно заметить, что величины потерь давления  $h_1$ , и депрессии  $h_2$  совпадают. Там же, в графе 9 указаны значения потерь давления  $h_3$  вычисленные по табличным данным [4].

Таблица 2 – Потери давления в аэродинамической трубе длиной 100 м

$v$ , м/с	$Re \cdot 10^3$	$\frac{68}{Re} \cdot 10^{-3}$	$\lambda \cdot 10^{-2}$	$\frac{\lambda}{d} \cdot 10^{-2}$	$\frac{\gamma v^2}{2g}$ , мм рт ст	$h_1$ , мм в.ст.	$h_2$ , мм в.ст.	$h_3$ , мм в.ст.
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	33	2,06	2,3947	4,518	0,0612	0,2	0,15	0,2
2	67	1,01	2,04647	3,86	0,24489	0,9	0,7	1,0
3	100	0,68	1,88808	3,50	0,551	1,92	1,60	1,80
4	133	0,51	1,7879	3,30	0,9796	3,2	2,90	3,00
5	167	0,41	1,72015	3,20	1,5306	4,9	4,42	4,60
6	200	0,34	1,66744	3,10	2,204	6,8	6,40	6,40



Оптимальный режим движения газовой смеси в аэродинамической трубе диаметром 0,53 м, по которой осуществляется дегазация выработанного пространства, наблюдается при скорости движения газа 3...5 м/с, при этом расход газоздушной смеси составляет 40...60 м<sup>3</sup>/мин. Опытнo-промышленная проверка эжектора-вентилятора типа ЭПВ и его промышленное использование будут выполнены в 2010 году на шахте им. А.Ф. Засядько.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Касимов О.И. Изолированный отвод метана из выработанного пространства с помощью вентилятора /О.И. Касимов, Б.В. Балинский, В.И. Тибабишев. - Уголь Украины, 1969. -№ 1. - С.40-41.
2. Касимов О.И Борьба с газовыделением выработанных пространств при столбовой системе разработки / О.И. Касимов, Б.В. Балинский, П.П. Ищенко. - Уголь Украины, 1972. -№ 2. - С.37-39
3. Абрамов Ф.А. Рудничная аэрогазодинамика. М.: Недра, 1972. – 272 с.
4. Вентиляция и кондиционирование воздуха: Справочник проектировщика. – М.: Недра, 1978. – 350 с.