Записки Ленинградского орденов Ленина и Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова, т. LV, вып. 1, 1968 г.

УДК 622.46

РАСЧЕТ ВЕНТИЛЯЦИИ ГЛУХИХ ЗАБОЕВ СЖАТЫМ ВОЗДУХОМ

С. С. Смородин

На горных предприятиях с применением пневматической энергии может оказаться технически и экономически выгодным проветривать глухие забои сжатым воздухом, так как при кратковременном проветривании или при сравнительно небольшом количестве постоянно подаваемого воздуха нецелесообразно подавать электроэнергию и устанавливать вентилятор частичного проветривания.

В газовых шахтах применение сжатого воздуха часто определяется условиями безопасности труда. Вентилятор частичного проветривания с пневмоприводом в этих условиях обычно применяют при длине выработок более 100 *м*. При коротких выработках с небольшим потребным количеством свежего воздуха в забое технически и экономически оправдывается применение пневмоэжекторов.

Типовые конструкции эжекторов сжатого воздуха КузНИУИ [Печук, 1945] широкого применения в горной промышленности не получают. Нередко в шахтах, в нарушение вентиляционного режима, проветривая глухие забои, выпускают сжатый воздух прямо из трубопровода в выработанное пространство, чем наносят большой экономический ущерб руднику. Правда, проектировщики проходки горных выработок часто не дают рекомендаций по применению пневмоэжекторов, что частично можно объяснить отсутствием достаточно надежной методики проектирования такой системы вентиляции. Рекомендуемые диаграммы для подбора типовых пневмоэжекторов соответствуют якобы избыточному давлению сжатого воздуха в трубопроводе, равному 4 *ат* (3,93 *бар*). По кривым рис. 1 можно определить действительное количество подсасываемого из выработки воздуха в данный трубопровод в зависимости от расхода сжатого воздуха (приведенного к атмосферному давлению) эжектором. Расход же пневмоэжектора при надкритической скорости истечения сжатого воздуха из сопла зависит от давления воздуха в трубопроводе, если другие параметры потока, в том числе и давление в смесительной камере, как мало изменяющиеся величины, принимать в расчете постоянными.

При проветривании выработки подачей воздуха по вентиляционному трубопроводу постоянного диаметра необходимо с удлинением выработки увеличивать и расход сжатого воздуха через эжектор. Такая задача не может быть решена без знания энергетических характеристик пневмоэжекторов, выражающих зависимость расхода от давления сжатого воздуха. По закону сохранения энергии сумма кинетических энергий воздуха при выходе из сопла эжектора и всасываемого из атмосферы должна быть равна сумме работы сжатия всего воздуха в камере смешения, кинетической энергии воздуха при входе в нагнетательный трубопровод и потерь энергии в эжекторе. Опуская выкладки и преобразования, получаем формулу [Соколов, Зингер, 1963] для определения количества всасываемого воздуха в трубопровод под давлением сжатого воздуха

$$Q_{вс} = 60 Q_{сж} \frac{p'_{пр}}{p_{вс}} \cdot \frac{v_с - v_к}{v_к - v_{вс}} = Q_э \psi_э, \qquad (1)$$

где $Q_{сж}$ — объем сжатого воздуха, протекающего через сопло эжектора, $м^3/сек$; $p'_{пр}$ — абсолютное давление сжатого воздуха в трубопроводе перед соплом, *бар*; $p_{вс}$ — давление при входе воздуха из атмосферы в эжектор, *бар*; $v_с$ — скорость воздуха при выходе из сопла пневмоэжектора, *м/сек*; $v_к$ — скорость общего потока воздуха в камере смешения пневмоэжектора (в наиболее узком сечении трубы Вентури), *м/сек*; $v_{вс}$ — скорость воздуха, всасываемого из атмосферы в плоскости выходного отверстия сопла пневмоэжектора, *м/сек*; $Q_э$ — расход свободного воздуха пневмоэжектором, т. е. приведенный к давлению всасывания, $м^3/сек$; $\psi_э$ — коэффициент эжекции — отношение веса воздуха, всасываемого из атмосферы в пневмоэжектор, к весу расходуемого сжатого воздуха через сопло пневмоэжектора

$$\psi_э = \frac{G_{вс}}{G_э} = \frac{v_с - v_к}{v_к - v_{вс}}.$$

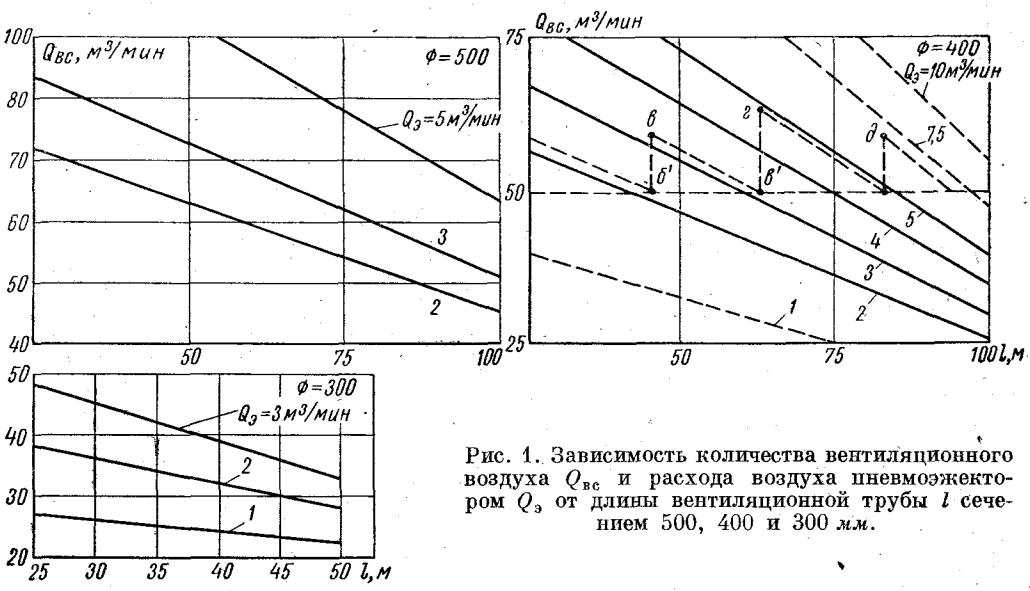


Рис. 1. Зависимость количества вентиляционного воздуха $Q_{вс}$ и расхода воздуха пневмоэжектором $Q_э$ от длины вентиляционной трубы l сечением 500, 400 и 300 *мм*.

При конструировании пневмоэжекторов выбирают наивыгоднейший коэффициент эжекции.

Применительно к конструкции пневмоэжекторов КузНИУИ, количество воздуха, всасываемого из атмосферы (см. рис. 1), изменяется по прямолинейному закону в функции расхода через сопло эжектора и длины вентиляционных труб. Расход свободного воздуха пневмоэжектором при надкритическом истечении воздуха из сопла

$$Q_э = 60 \frac{1}{\gamma_а} f_с \mu_с \sqrt{2g \frac{n}{n-1}} \sqrt{\frac{p_{пр}+1}{V_{пр}}} \times \qquad (2)$$

$$\times \sqrt{\left(\frac{2}{n+1}\right)^{\frac{2}{n-1}} \frac{n-1}{n+1}},$$

где $\gamma_а$ — удельный вес воздуха при входе из атмосферы в пневмоэжектор, $кГ/м^3$; $f_с$ — выходное сечение сопла пневмоэжектора, $м^2$; $\mu_с$ — коэффициент поджатия струи при выходе из сопла; n — показатель процесса расширения при истечении; $p_{пр}$ и $V_{пр}$ — манометрическое давление (*бар*) и удельный объем ($м^3/кГ$) сжатого воздуха в трубопроводе перед соплом.

Зависимость расхода свободного воздуха данным пневмоэжектором от давления воздуха в трубопроводе и является внешней энергетической характеристикой пневмоэжектора. Аналитическое определение этой

характеристики затруднительно, так как не известны действительные значения величин коэффициента истечения и показателя процесса расширения, которые зависят от давления сжатого воздуха и других факторов. Для решения задачи определения расхода только в функции давления достаточно все изменяющиеся величины объединить в одно переменное, тогда уравнение (2) можно написать в виде

$$Q_э = c\beta p_{пр}^{1/2} = c\alpha p_{пр}^{b} p_{пр}^{1/2} = c\alpha p_{пр}^{a}, \qquad (3)$$

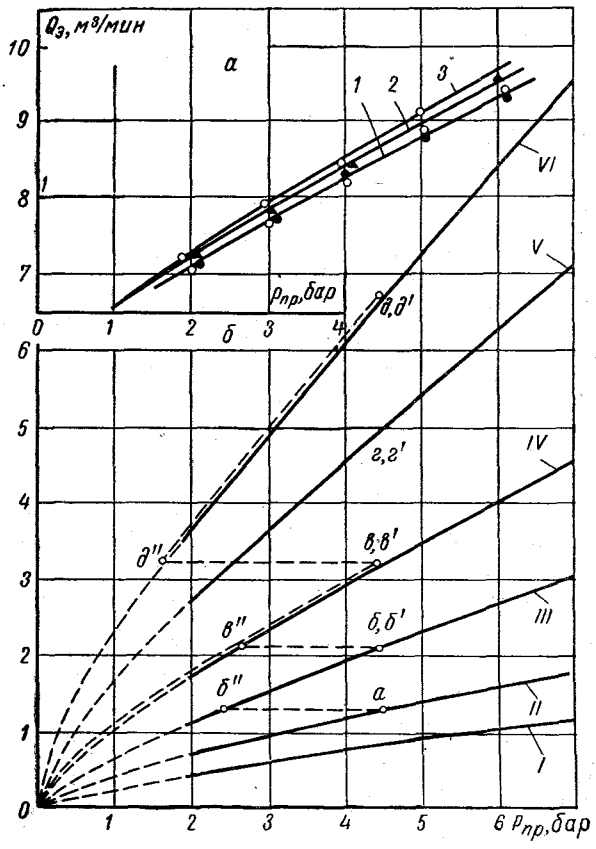


Рис. 2. Энергетическая характеристика пневмоэжектора КузНИУИ:

а — тип *II*: *1* — по формуле (2); $n = 1{,}4$; *2* — по формуле (4); $\alpha = 1{,}05$; *3* — экспериментальная кривая;

б — типы	*I*	*II*	*III*	*IV*	*V*	*VI*
Диаметр, *мм*	5	6	8	10	12	14
α	0,7	1,05	1,75	2,65	4,15	5,5

где c — постоянная; $\beta = \alpha p_{пр}^{b}$ — переменная, зависящая от давления сжатого воздуха перед соплом; α — коэффициент, характеризующий конструкцию и размеры сопла пневмоэжектора; $a = \frac{2b+1}{2}$ (b — эмпирическое число).

Полученная на основе исследования большого числа других потребителей сжатого воздуха [Смородин, 1963] полуэмпирическая формула определения расхода любым потребителем через характеристику так называемого эквивалентного молотка применима и для пневмоэжектора

$$Q_э = 0{,}393\alpha p_{пр}^{0{,}76}. \qquad (4)$$

Тогда α определяется опытным путем как коэффициент эквивалентности пневмоэжектора. Формула (4) получена на основе математической обработки большого числа опытных данных методом уравновешивания погрешностей в логарифмической форме. Возможность ее использования проверена экспериментальными исследованиями пневмоэжекторов КузНИУИ типа *II* с диаметром выходного отверстия сопла 6 *мм*. Как видно из кривых рис. 2, *а*, полуэмпирическая формула (4) дает результаты, вполне приемлемые для инженерных расчетов. Таким образом, на рис. 2, *б* рассчитаны и опытом проверены пневмоэжекторы типов *I—III*. Характеристики *IV—VI* построены по формуле (4).

Сводные энергетические характеристики типовых пневмоэжекторов (рис. 2, *б*) можно использовать для расчета вентиляции глухих забоев сжатым воздухом. С помощью таких характеристик можно не только проектировать вентиляционные установки с пневмоэжекторами, но и решать эксплуатационные задачи, когда при заданном трубопроводе и типе эжекторов, в сети сжатого воздуха, необходимо определить количество вентиляционного воздуха.

Энергетические характеристики пневмоэжекторов обеспечивают решение большого разнообразия задач, связанных с вентиляцией глухих забоев.

Пример. Длина горной выработки изменяется при проходке от 0 до 90 *м*. Давление в сети сжатого воздуха 4,5 *бар*. Требуемое количество подаваемого воздуха неизменно и составляет 50 *м*³/*мин*. Диаметр трубопровода 400 *мм*. Необходимо подобрать типы эжекторов.

Вентиляцию при проходке данной выработки можно обеспечить несколькими путями.

1. Можно включать эжекторы на полное давление и регулирование обеспечивать сменой эжекторов. При этом вначале устанавливается тип II, который будет расходовать постоянно 1,3 *м*³/*мин* (рис. 2, *б*, точка *а*), затем — эжектор типа III с расходом 2,1 *м*³/*мин* (точка *б*). При замене эжекторов их расходы в точке *в* составят $Q_э = 3{,}2$ *м*³/*мин*, в точках *г* и *д* соответственно 6 и 7 *м*³/*мин*. И количество воздуха будет изменяться по ломаной рис. 1 *аа'бб'вв'гг'дд'* (точки *аа'* и *б* на рисунке не показаны).

2. Проветривать эту выработку при проходке можно и с помощью только двух эжекторов. Вначале устанавливается тип *IV*, расход которого каждую смену выбирается соответственно длине выработки при подаче 50 *м*³/*мин* вентиляционного воздуха и обеспечивается подводом сжатого воздуха к эжектору необходимого давления с помощью редукционного клапана или вентиля. Во всех случаях, конечно, между эжектором и регулятором давления должен быть установлен манометр. Тогда при переменном давлении расход воздуха пневмоэжектора типа *IV* будет изменяться по кривой *ов* (рис. 2, *б*), а при переходе на тип *VI* — кривой *д''д*. Количество вентиляционного воздуха будет поддерживаться постоянным по ломаной 50 *б'в'г'д'* (рис. 1).

Второй способ проветривания с энергетической точки зрения менее экономичен, чем первый, что может компенсироваться меньшими затратами времени на замену эжекторов. Экономически с энергетической точки зрения можно принять третий — промежуточный вариант.

3. Проветривание выработки последовательной заменой эжекторов и регулированием давления при работе каждого из них. Расход воздуха эжекторами в этом случае будет изменяться по ломаной *аб''бв''вд''д* (см. рис. 2, *б*). Проветривание выработки, как и в предыдущем случае, будет осуществляться постоянным количеством воздуха.

Выводы

Применение пневмоэжекторов для проветривания тупиковых выработок небольшой протяженности нередко представляет преимущества перед другими способами вентиляции. Проветривание простым выпуском сжатого воздуха из трубопровода недопустимо, так как пневмоэжектор на 1 *м*³/*мин* израсходованного из сети свободного воздуха подает в забой 10—30 *м*³/*мин* вентиляционного.

Энергетические характеристики пневмоэжекторов математически достаточно точно можно описать полуэмпирической формулой (2). Эти характеристики при расчете вентиляции глухих забоев обеспечивают достаточную надежность проектирования системы вентиляции, а при эксплуатации пневмоэжекторов — надежный контроль за состоянием вентиляции глухих забоев с помощью сжатого воздуха.

ЛИТЕРАТУРА

Печук И. М. Типовые эжекторы сжатого воздуха КузНИУИ. БТИ Наркомугля, № 86, 1945.

Смородин С. С. Рудничные воздухопроводные сети. Госгортехиздат, 1963.

Соколов Е. Я., Зингер Н. М. Струйные аппараты. Госгортехиздат, 1960.