

УДК 622.273.06

Инж. ЕЩЕНКО С.А. (ГПО «Артемсоль»)

ОБОСНОВАНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОДЗЕМНЫХ ВЕНТИЛЯТОРНЫХ УСТАНОВОК ГЛАВНОГО ПРОВЕТРИВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕОРИИ СТРУЙНЫХ АППАРАТОВ ДЛЯ УСЛОВИЙ СОЛЯНЫХ РУДНИКОВ

ГПО «Артемсоль» совместно с УкрНИИсоль и НИИГД (НПО «Респиратор») выполнили комплекс исследований, направленных на решение проблемы резкого снижения расхода электроэнергии на проветривание соляных рудников в условиях сокращенного (до 4 раз) объема производства и количества проветриваемых объектов.

В новых правилах безопасности при разработке рудных и нерудных месторождений подземным способом разрешено на негазовых соляных рудниках применять подземные вентиляционные установки главного проветривания (ГВУ) по специальному проекту.

Нами предложено в качестве подземных ГВУ использовать эжекторы низкого давления (струйные аппараты) с побудителем тяги — вентиляторами местного проветривания (ВМП) при остановленных поверхностных ГВУ, которые имеют статус резервных и включаются в планы ликвидации аварий рудника.

Такие вентиляционные вспомогательные установки (ПВВУ) используются на калийных рудниках для решения различных вентиляционных проблем [1].

Вентиляционная установка состоит из ВМП с коническим соплом и струйного аппарата (трубы Вентури — эжектора низкого давления), состоящего из конфузора, камеры смешения цилиндрической формы и диффузора, из которого поток воздуха поступает в вентиляционный ствол. В цилиндрической части установки выработка перекрывается герметичной перемычкой. Для возможности реверсирования воздушной струи в аварийных случаях со стороны диффузора устанавливается второй ВМП.

Поток рабочего (эжектирующего) воздуха, выходящий с большой скоростью из сопла ВМП в камеру смешения, увлекает за собой эжектируемый воздух, создавая в приемной зоне пониженное давление. После выравнивания скоростей в камере смешения воздух поступает в диффузор, где вследствие уменьшения скорости динамическое давление преобразуется в статическое [2].

Повышение давления инжектируемого потока без непосредственной затраты механической энергии является основным принципиальным положительным качеством струйных аппаратов.

Опыт применения ПВВУ показывает, что в сравнении с ВМП производительность увеличивается в 5–6 раз [1]. Это дает основание сделать вывод о возможности и целесообразности применения таких аппаратов в качестве подземных ГВУ с учетом благоприятных аэродинамических параметров вентиляционных систем соляных рудников. При этом в сравнении с поверхностными ГВУ рудников ГПО «Артемсоль» установленная мощность электродвигателей уменьшается в 5,5–7 раз.

На руднике № 7 ГПО «Артемсоль» подземная ГВУ эксплуатируется с 2002 г. [3].

Так как такие установки планируется использовать на других соляных рудниках, ниже приводится методика расчета их геометрических параметров с использованием теории струйных аппаратов.

Определение аэродинамических характеристик параметров трубы Вентури проведено на основании теории струйных аппаратов [1].

Исходные данные для расчетов.

1. Массовый расход ВМП:

$$G_a = \rho_0 Q_a \text{ кг/с,}$$

где $\rho_0=1,2 \text{ кг/м}^3$ — плотность воздуха при нормальных условиях; Q_a — номинальная объемная подача вентилятора, $\text{м}^3/\text{с}$.

2. Скорость воздуха на входе в вентилятор:

$$\omega_a = \frac{4G_a}{\pi \rho_n d_a^2} \text{ м/с,}$$

где ρ_n — фактическая плотность рудничного воздуха, кг/м^3 ; d_a — диаметр рабочего колеса вентилятора, м.

3. Динамическое (скоростное) давление, развиваемое вентилятором:

$$\Delta p_{дин} = \frac{\rho_n \omega_a^2}{2} \text{ кПа.}$$

4. Статическое давление вентилятора

$$\Delta p_{ст} = p_a - \Delta p_{дин} \text{ кПа,}$$

где p_a — полный напор вентилятора, кПа.

5. Абсолютное давление на выходе из вентилятора (на входе в сопло):

$$p_p = p_n + \Delta p_{ст},$$

где p_n — давление воздуха при входе в вентилятор, кПа.

6. Сжатие воздуха в вентиляторе происходит изотермически, поэтому

$$T_p = T_n = T_c,$$

где T_p , T_n , T_c — температуры воздуха на входе в вентилятор, на выходе из сопла и на выходе из трубы Вентури соответственно.

Уравнение характеристики газоструйного инжектора определяется по формуле:

$$\frac{\Delta p_c}{p_n} = k \Pi_{p^*} \frac{p_p}{p_n} \frac{f_{p1}}{f_3} q_{pn}^2 \left[\begin{array}{l} \varphi_1 \varphi_2 \frac{\lambda_{pn}}{q_{pn}} + \varepsilon_{p^*} (\varphi_2 \varphi_4 - 0,5) \frac{v_n}{v_p} \frac{f_{p1}}{f_3 - f_{p1}} u^2 - \\ - \varepsilon_{p^*} \left(\frac{1}{\varphi_3} - 0,5 \right) \frac{v_c}{v_p} \frac{f_{p1}}{f_3} (u+1)^2 \end{array} \right],$$

где Δp_c — разность давлений на выходе и входе в трубу Вентури; $k=1,4$ — показатель адиабаты для воздуха; Π_{p^*} — относительное давление воздуха при изоэнтропной скорости воздуха на выходе из сопла;

$\frac{f_{p1}}{f_3}$ — отношение площади выходного сечения сопла к площади сечения цилиндрической части инжектора; ε_{pn} — относительная плотность воздуха; λ_{pn} — приведенная изоэнтропная скорость воздуха; q_{pn} — приведенная массовая скорость воздуха; φ_1 ; φ_2 ; φ_3 ; φ_4 — значения коэффициентов скорости [1]; ε_{p^*} — относительная плотность воздуха при критическом режиме истечения.

Отношения удельных объемов воздуха:

$$\text{— инжектируемого к эжектируемому} \quad \frac{v_n}{v_p} = \frac{p_p \cdot T_n}{p_n \cdot T_p} = \frac{p_p}{p_n};$$

— смешанного к эжектируемому
$$\frac{v_c}{v_p} = \frac{p_p \cdot T_c}{p_c \cdot T_p} = \frac{p_p}{p_c},$$

где v_n, v_p, v_n — удельные объемы воздуха на входе в трубу Вентури, на выходе из сопла и на выходе из трубы Вентури соответственно; u — коэффициент инжекции.

$$u = \frac{Q_c \cdot p_n}{R \cdot T_n \cdot G_c} - 1,$$

где Q_c — количество необходимого воздуха, подаваемого в рудник, м³/мин; R — газовая постоянная для воздуха; $\frac{f_3}{f_{p1}}$ — оптимальное отношение площади сечения камеры смешения к площади сечения сопла:

$$\frac{f_3}{f_{p1}} = \frac{-K_2 + \sqrt{K_2^2 - 3,9K_1}}{1,95},$$

здесь

$$K_1 = 1,19 \frac{v_c}{v_p} (1+u)^2 \text{ и } K_2 = 0,7813 \frac{v_n}{v_p} u^2 - K_1 - 0,975.$$

Выходное сечение рабочего сопла:

$$f_{p1} = \frac{G_p}{\varphi_1} \sqrt{\frac{v_p}{2(P_p - P_n)}} \text{ м}^2,$$

где φ_1 — скоростной коэффициент сопла.

Диаметр сопла:

$$d_1 = \sqrt{\frac{4f_{p1}}{\pi}} \text{ м.}$$

Площадь сечения камеры смешения:

$$f_3 = \frac{f_3}{f_{p1}} f_{p1} \text{ м}^2,$$

Диаметр камеры смешения:

$$d_3 = \sqrt{\frac{4f_3}{\pi}} \text{ м.}$$

Длина свободной струи эжектируемого воздуха:

$$l_{c1} = \frac{0,37 + u}{4,4a} d_1 \text{ м,}$$

где a — опытная константа, лежащая для упругих сред в пределах 0,07÷0,09.

Диаметр свободной струи на расстоянии l_{c1} от выходного сечения сопла:

$$d_4 = 1,55d_1(1+u) \text{ м.}$$

Поскольку диаметр камеры смешения $d_3 < d_4$, то входной участок камеры смешения должен быть выполнен в виде конического перехода от d_3 до d_4 .

При угле раствора конуса δ длина конфузора будет равна:

$$l_{c2} = \frac{d_4 - d_3}{2 \operatorname{tg} \frac{\delta}{2}} \text{ м.}$$

Расстояние от выходного сечения рабочего сопла до входного сечения цилиндрической камеры смешения:

$$l_c = l_{c1} + l_{c2} \text{ м.}$$

Длина цилиндрической камеры смешения:

$$l_k = (6 \div 10) d_3 \text{ м.}$$

Ниже приведены результаты расчета геометрических параметров труб Вентури по изложенной выше методике применительно к условиям рудника им. Володарского ГПО «Артемсоль».

По данным ВДС рудника им. Володарского параметры рудничного воздуха в месте установки трубы Вентури (усредненные значения) составляют: температура $t_n = 14^\circ\text{C}$ ($T_n = 287 \text{ K}$); давление $p_n = 103,6 \text{ кПа}$, плотность $\rho_n = 1,258 \text{ кг/м}^3$.

В качестве побудителя тяги принят вентилятор местного проветривания ВМЭ2-10 диаметр рабочего колеса которого, $d_6 = 1000 \text{ мм}$; номинальная подача $Q_6 = 15 \text{ м}^3/\text{с}$; номинальное полное давление $p_6 = 480 \text{ даПа}$.

При необходимом количестве воздуха, подаваемого в рудник, $Q_c = 4511 \text{ м}^3/\text{мин}$ ($75,2 \text{ м}^3/\text{с}$) коэффициент инжекции составит $u = 4,25$.

Тогда диаметр сопла $d_1 = 0,47 \text{ м}$; диаметр камеры смешения $d_3 = 2,04 \text{ м}$; длина свободной струи эжектируемого воздуха $l_{c1} = 6,20 \text{ м}$; диаметр конфузора $d_4 = 3,82 \text{ м}$; длина конфузора при угле раствора конуса $\varphi = 18^\circ$ $l_{c2} = 5,62 \text{ м}$; расстояние от выходного сечения сопла до входного сечения камеры смешения $l_c = 11,82 \text{ м}$; длина камеры смешения $l_k = 12,24 \text{ м}$; общая длина трубы Вентури без учета длины вентилятора с соплом равна $l = 35,88 \text{ м}$; депрессия, создаваемая трубой Вентури, составляет 47 даПа .

По данным опытной эксплуатации ПГВУ на руднике № 7 удельные затраты мощности на проветривание в сравнении с поверхностным ГВУ снижается с $5,3$ до $1,4 \text{ кВт} \cdot \text{с}/\text{м}^3$ или в $3,8$ раза, что позволяет сэкономить более 60% расходуемой в настоящее время электроэнергии.

Библиографический список

1. Подземная вспомогательная вентиляторная установка (ПВВУ) на базе серийных шахтных вентиляторов. АО «Уралкалий», Горный институт УРОРАН // Горный журнал, 1994. — № 12. — С. 3.
2. Соколов Е.А., Зингер Н.М. Струйные аппараты. Изд. 2-е. — М.: Энергия, 1970. — С. 146–162.
3. Ярембаш И.Ф., Ещенко А.Н., Станкевич М.И., Пырин С.Н., Ещенко С.А. Исследование проветривания соляного рудника с использованием подземной вспомогательной установки главного проветривания // Изв. Донецкого горного института, 2002. — № 3. — С. 19–21.
4. Ещенко С.А. Обоснование возможности применения подземных вентиляторов главного проветривания в условиях рудников Артемовского месторождения каменной соли // Изв. Донецкого горного института, 2003. — №2. — С. 23–27.

© Ещенко С.А., 2005