

УДК 622.42/.44

А.А. Каменских**ВОЗДУШНАЯ ЗАВЕСА В УСТЬЕ
ВЕНТИЛЯЦИОННОГО СТВОЛА**

Описан метод расчета и конструкция воздушной завесы, позволяющие уменьшить величину поверхностных утечек воздуха в устье вентиляционного ствола с соответствующим экономическим эффектом.

Ключевые слова: воздушная завеса, поверхностные утечки воздуха, вентиляционный ствол.

A.A. Kamenskih
**AIR CURTAIN AT THE MOUTH OF
THE VENTILATION SHAFT.**

This article describes the method of calculation and design of air curtain to reduce the amount of surface air leaks at the mouth of the ventilation shaft with a corresponding economic benefit.

Key words: air curtain, surface leakage of air, ventilation shaft.

Как показывает обзор специальной литературы, вопрос применения воздушной завесы для увеличения аэродинамического сопротивления участка сечения в свету в устье вентиляционного ствола исследован недостаточно. Основной проблемой метода считается низкая эффективность воздушной завесы при депрессии через нее более 150 Па [3,7]. Таким образом, необходимо оценить возможную величину депрессии на воздушной завесе при ее размещении в устье ствола.

Для этого произведем оценку величины депрессии на участке ствола от нулевой отметки до сопряжения с вентиляционным каналом, используя формулы [4]

$$\begin{aligned} h &= R Q^2, \\ Q &= v_{\text{cp}} S \end{aligned} \quad (1)$$

где h (Па) – депрессия, Q (м³/с) – дебит утечек воздуха через устье ствола, R (кг/м⁷) – сопротивление участка ствола от нулевой отметки до сопряжения с вентиляционным каналом, S (м²) – площадь сечения выработки, v_{cp} (м/с) – средняя скорость воздушного потока в стволе, обусловленного утечками. Для определения R воспользуемся известным выражением [1, 4]:

$$R = \alpha \frac{\rho P L}{S^3}, \quad (2)$$

где α – безразмерный коэффициент, зависящий от способа проведения выработки [1], ρ (кг/м³) – плотность воздуха, P (м) – длина периметра выработки, L (м) – длина участка выработки, на котором депрессия (перепад давления) равна h .

Из (1), (2) для выработки цилиндрической формы радиусом r , следует формула для оценки депрессии:

$$h = 2\alpha \rho \frac{L}{r} v_{\text{cp}}^2 \quad (3)$$

Подставляя в формулу (3) значения $v_{\text{cp}} \approx 1,5$ м/с, $\rho \approx 1$ кг/м³, $L \approx 5$ м, $r = 4$ м, $\alpha \approx 100$ [4], получим $h \approx 375$ Па. Таким образом, при характерных скоростях потока воздуха менее 1,5 м/с возможно использование воздушной завесы для увеличения сопротивления части устья ствола.

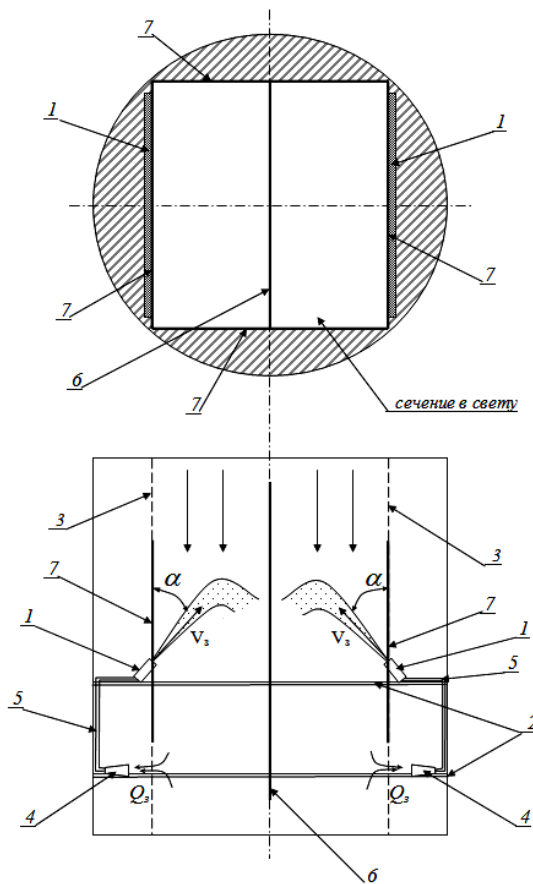


Рис. 1. Схема размещения воздушной завесы в устье вентиляционного ствола

Трубопроводы 5 прокладываются вдоль крепи ствола.

Для повышения эффективности действия завесы основной поток делится на два потока с помощью продольной перегородки 6, устанавливаемой на центральном расстреле. Перегородка должна иметь высоту, которая не позволяет взаимодействовать потокам воздуха в области действия каждой половины завесы. Высота определяется скоростью и наклоном струи завесы, а также шириной сечения ствола в свету. По периметру сечения в свету также устанавливаются продольные перегородки 7 (рис. 1.) для обеспечения более эффективного воздействия струи завесы на основной поток.

При скоростях, больших 1,5 м/с, необходим дополнительный анализ применения завесы на конкретных рудниках.

Рассмотрим следующий вариант конструкции и размещения воздушной завесы в устье вентиляционного ствола. Предлагается использовать двустороннюю сопряженную встречную завесу шиберирующего типа. Схема завесы изображена на рис. 1.

Воздухораздаточные короба 1 крепятся на расстрелах 2 на одном из ярусов армировки в устье вентиляционного ствола вплотную к соответствующим проводникам 3. Вентиляторы завесы 4 устанавливаются на следующем нижнем ярусе армировки.

Для создания завесы можно использовать стандартный воздухораздаточный короб длиной до 5 м.

Воздухораздаточный короб в стволе устанавливается так, что из щели со скоростью v_0 выпускается струя воздуха под углом α к воздушному потоку, проходящему через сечение в свету вентиляционного ствола (далее - сечение). Взаимодействуя с потоком, струя завесы изгибается, перекрывая частично или полностью половину сечения ствола. В результате увеличивается эффективное аэродинамическое сопротивление устья ствола и снижается депрессия на надшахтном здании и, соответственно,

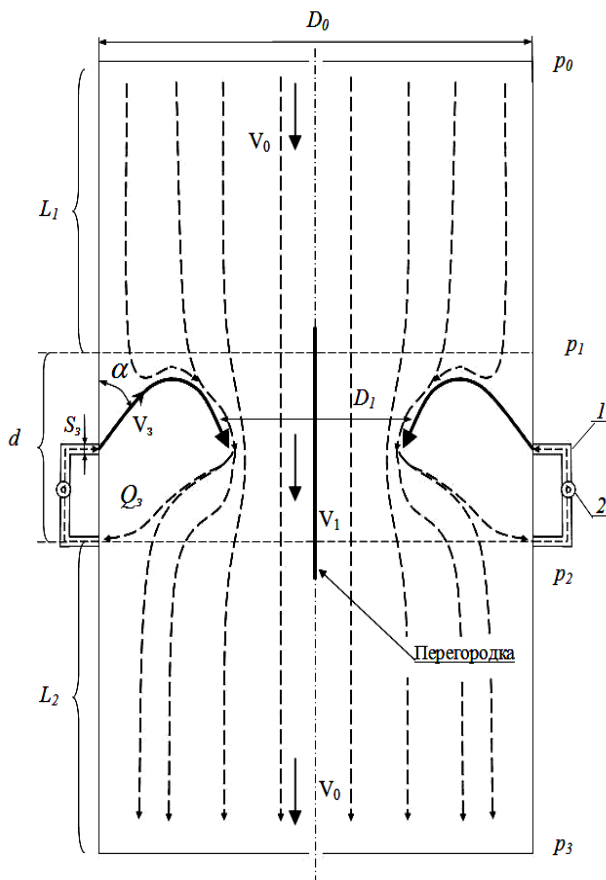


Рис. 2. Схема воздушных потоков в устье ствола при использовании завесы: 1 – трубопровод, 2 – вентилятор завесы

допущение, найдем общее выражение, связывающее дебит поверхностных утечек через устье ствола без завесы Q_0 с дебитом утечек при действии завесы Q_1 .

Модель структуры воздушных потоков в устье ствола для рассматриваемой завесы представлена на рис. 2.

Допустим, что p_0 – атмосферное давление, p_3 – давление в сечении ствола на уровне верхней части сопряжения с вентиляционным каналом (рис. 2), а суммарная депрессия в устье ствола и надшахтном здании h_{03} с завесой и без завесы одинакова ($h_{03} = (p_0 - p_3) = \text{const}$). Весь путь поверхностных утечек через надшахтное здание и

уменьшается величина поверхностных утечек.

При размещении завесы в устье вентиляционного ствола ее действие приводит к уменьшению начальной скорости потока вследствие увеличения аэродинамического сопротивления, т.е. скорость потока, набегающего на завесу, нельзя считать известной. Это существенно усложняет задачу расчета шиберирующего действия завесы на поток. Более корректным является подход, основанный на предположении о постоянстве суммарной депрессии на надшахтном здании и устье ствола при наличии завесы и без нее. Используя данное

устье ствола можно разделить на три участка (рис. 2): 1 – верхний от надшахтного здания до воздушной завесы, 2 – с воздушной завесой, 3 – нижний между завесой и вентиляционным каналом. В отсутствие завесы связь между депрессией и дебитом утечек следующая:

$$h_{03} = R_0 Q_0^2, \quad (4)$$

$$R_0 = R_1 + R_2 + R_3,$$

где R_1 – сопротивление верхнего участка, включающее квадратичную составляющую фильтрационных утечек через надшахтное здание, R_2 – сопротивление участка ствола в месте размещения завесы, если она не ра-

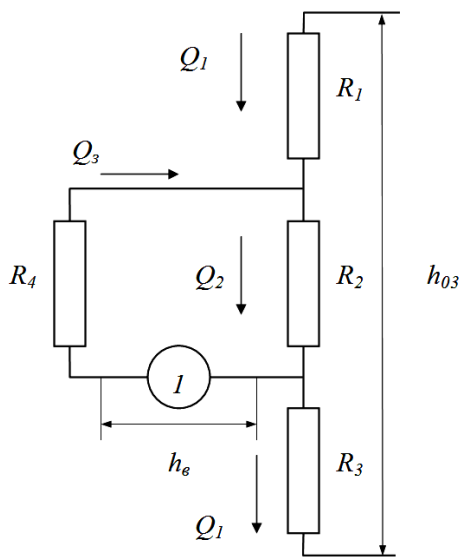


Рис. 3. Схема вентиляционной сети в устье ствола при действии завесы:
 I – вентилятор

Увеличение сопротивления 2-го участка может быть обусловлено двумя факторами: рециркуляция воздушного потока вследствие работы вентилятора воздушной завесы и шиберирующее действие воздушной завесы. Рассмотрим действие первого фактора.

На рис. 3 изображена схема вентиляционной сети в устье ствола при действии завесы. Будем считать сопротивление 2-го участка постоянным как с завесой, так и без нее. Тогда, применяя правила Кирхгофа к вентиляционным сетям [2], следуют уравнения:

$$\begin{aligned} h_{03} &= R_1 Q_1^2 + R_2 Q_2^2 + R_3 Q_1^2, \\ h_6 &= R_4 Q_3^2 + R_2 Q_2^2, \\ Q_2 &= Q_1 + Q_3. \end{aligned} \quad (7)$$

Здесь h_b (Па) – депрессия вентилятора воздушной завесы, R_4 (кг/м⁷) – сопротивление воздухопроводов и щели завесы.

С учетом соотношения (5) и (6) из (7) получим уравнения, определяющие зависимость ΔR от дебита воздуха в завесе, дебита утечек без завесы и дебита утечек с завесой:

$$\begin{aligned} \frac{\Delta R}{R_2} &= \left(\frac{Q_3}{Q_0}\right)^2 \left(1 + \frac{\Delta R}{R_0}\right) + 2 \left(\frac{Q_3}{Q_0}\right) \sqrt{1 + \frac{\Delta R}{R_0}}, \\ \Delta R &= R_2 \left(\frac{Q_3}{Q_1}\right) \left(2 + \frac{Q_3}{Q_1}\right). \end{aligned} \quad (8)$$

Исключая из системы уравнений ΔR , зависимость отношения дебита утечек с завесой Q_1 и без нее Q_0 от аэродинамических параметров и дебита воздуха в завесе:

ботает (длина этого участка d), R_3 – сопротивление 3-го участка, R_0 – полное сопротивление участков. При соответствующем выборе длины 2-го участка можно считать, что работающая воздушная завеса не влияет на сопротивление 1-го и 3-го участков. В этом случае, для депрессии h_{03} и дебита утечек при действии завесы Q_1 :

$$h_{03} = (R_0 + \Delta R) Q_1^2, \quad (5)$$

где ΔR – величина, на которую возрастает сопротивление 2-го участка при действии завесы.

Приравнявая (5) к (4):

$$Q_1 = Q_0 \sqrt{\frac{R_0}{R_0 + \Delta R}} \quad (6)$$

Формула (6) определяет общую зависимость дебита поверхностных утечек через устье ствола от основных аэродинамических характеристик вентиляционной системы. Из формулы (6) для оценки конкретных значений дебита утечек необходимо определить зависимость величины ΔR от основных параметров воздушной завесы.

$$\left(\frac{Q_1}{Q_0}\right)^2 = \frac{(a^2 c - 1)^2}{1 - a^2 c + 2 a^2 c^2 + 2 a c \sqrt{a^2 c^2 + 1 - a^2 c}},$$

$$a = \frac{Q_2}{Q_0}, \quad c = \frac{R_2}{R_0}. \quad (9)$$

Формула (9) позволяет оценить эффект действия завесы, обусловленный вторым фактором. В частности, при $c=0.01$ и $a=0.1$ из формулы (9) $Q_1/Q_0 \approx 0.99$, т.е. уменьшение величины утечек на 1%.

Для оценки шиберирующего действия воздушной завесы, обусловленного взаимодействием встречного потока струи завесы с основным потоком, используем метод, изложенный в [6]. Рассмотрим действие завесы с одной стороны соответственно на одну половину основного потока. Считаем, что дебит потока, разделенного перегородкой b и проходящего через одну завесу равен половине дебита основного потока, т.е. $0.5Q_0$ и $0.5Q_1$.

Сложением функций тока основного потока и струи в [6] получена следующая формула, связывающая необходимые параметры для расчета завесы:

$$\frac{Q_0 - Q_1}{2Q_0} = F(w; \alpha; \frac{D_0}{2b}), \quad (10)$$

где F – характеристика завесы, определяющая количество задержанного завесой воздуха, приходящегося на m^3 воздуха завесы и зависящая от ее конструктивного оформления, D_0 (м) – ширина сечения ствола в свету (рис. 1, 2), b (м) – ширина щели завесы, α (град) – наклон струи завесы к основному потоку (рис. 2), w – эмпирический коэффициент турбулентности струи, равный отношению средней скорости потока к максимальной скорости, обусловленной турбулентными пульсациями.

Для плоской односторонней встречной завесы шиберирующего типа для характеристики F [6]:

$$F = \sqrt{\frac{3w}{2 \cos \alpha}} \operatorname{th} \left(\frac{\sin(2\alpha)}{2w} \right) \sqrt{\frac{D_0}{2b} + 1} \quad (11)$$

Используя формулы (10), (11), оценим величину дебита воздуха в завесе Q_3 при следующих значениях параметров:

$$Q_0 \approx 20 \text{ м}^3/\text{с}, \quad Q_1 \approx 5 \text{ м}^3/\text{с}, \quad \alpha = 45^\circ,$$

$$w = 0.1, \quad D_0 = 5 \text{ м}, \quad b = 0.1 \text{ м}$$

(уменьшение утечек через устье на 75%). В результате $Q_3 \approx 2.3 \text{ м}^3/\text{с}$, $v_3 \approx 4.6 \text{ м}/\text{с}$.

Оценим депрессию вентилятора завесы h_B , необходимую для обеспечения требуемого дебита воздуха. Считаем, что аэродинамическое сопротивление ветви завесы в сети (рис. 3) R_4 значительно больше сопротивления 2-го участка R_2 ($R_4 \gg R_2$) и, в основном, обусловлено сопротивлением щели. В этом случае из (7) $h_6 \approx R_4 Q_3^2$. Величину R_4 оценим по формуле (2) при следующих значениях:

$$\rho \approx 1.2 \text{ кг}/\text{м}^3;$$

$$P(\text{длина периметра щели завесы}) \approx 10.2 \text{ м};$$

$$S(\text{площадь сечения щели}) \approx 0.5 \text{ м}^2;$$

$$L(\text{длина щели}) \approx 0.3 \text{ м};$$

$$\alpha \approx 10 [4, 47, 51, 56]$$

В результате $R_4 \approx 300 \text{ кг}/\text{м}^7$ и порядок необходимой депрессии вентилятора $h_6 \approx 1600 \text{ Па}$. При КПД вентилятора около 60% величина необходимой мощности одного вентилятора:

$$N = \frac{h_6 Q_3}{\text{кпд}} \approx 6 \text{ кВт}. \quad (12)$$

При депрессии ВУГП 100 даПа и КПД 50% уменьшение дебита утечек через устье ствола на $15 \text{ м}^3/\text{с}$ дает экономию мощности около 30 кВт. С

учетом затрат мощности на завесу (12) итоговая экономия мощности около 18 кВт.

Таким образом, применение воздушной завесы предлагаемой конструкции обеспечивает уменьшение величины поверхностных утечек через

устье вентиляционного ствола и дает экономию по потребляемой на проветривание мощности. Для решения вопроса об использовании воздушной завесы на конкретных рудниках и шахтах требуются дополнительные исследования и проектные проработки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Абрамов Ф.А., Долинский В.А., Идельчик И.Е., Керстен И.О., Цоликов В.Я.* Аэродинамическое сопротивление горных выработок. – М.: Недра, 1964. 186 с.
2. *Абрамов Ф.А., Тяп Р.Б., Потемкин В.Я.* Расчет вентиляционных сетей шахт и рудников. – М.: Недра, 1978. 231 с.
3. *Альменко Н.И., Минин В.В.* Вентиляторные установки и их применение. – Екатеринбург: УрО РАН, 1999. 223 с.
4. *Медведев И.И., Красноштейн А.Е.* Аэрология калийных рудников. – Свердловск: УрО АН СССР, 1990. 251 с.
5. *Сычев А.Т.* К расчету воздушных завес // Водоснабжение и санитарная техника. 1974, №2. С. 22-24.
6. *Шепелев И.А.* Основы расчета воздушных завес, приточных струй и пористых фильтров. – М.: Стройиздат, 1950. 150 с.
7. *Шепелев С.Ф.* Современный комплекс различных воздухо-регулирующих устройств. Из-во «Наука» Казахской ССР, Алма-Ата, 1971. 154 с.
8. *Эльтерман В.М.* Воздушные завесы. – М.: Машиностроение, 1966. 164 с. **ПАБ**

Коротко об авторе

Каменских А.А. - мл. научный сотрудник Горного института УрО РАН,
ant-kamenskikh@yandex.ru



ЗА ДЕРЖАВУ ОБИДНО

Подняв патриотическую волну, политики хотят прокатиться на ее гребне.

Политики уверены, что россияне очень плохо относятся к Америке, завидуют благополучию ее граждан и ждут от США всяких пакостей. Действительно, малоинформированные люди во всем мире ненавидят американцев, чему способствует национальная пропаганда. Политиков не сложно понять: если не разыгрывать антиамериканскую карту, то может возникнуть вопрос: «Отчего такая разница в уровне жизни? Мы что, глупее американцев, или хуже работаем? А может, вы, вожди, в чем-то ошибаетесь и валите все с больной головы на здоровую». Думаю, что в этом и скрыта главная причина антиамериканской пропаганды.

Но сами политики великолепно понимают, что хорошо и что плохо. Свои капиталы они держат в западных банках, имеют предприятия в США, Англии и Германии, где законы либеральны и демократичны. Своих детей и внуков они давно переселили в США, где те оказались недоступными для возможных всплесков народного гнева. Наши прагматичные политики, возбуждая в народе приступы ксенофобии, не забывают о судьбе четырех Чаушеску. Все может быть, и они готовятся к любому варианту развития истории.

Из книги Л.Х. Гитиса «Верхом на тигре». М.: Горная книга, 2009. С.247