

ГЕОТЕХНОЛОГИЯ

УДК 622.411.332 (574.31)

Ж. Г. Левицкий, А. Д. Нургалиева

УПРАВЛЕНИЕ РАСХОДАМИ ВОЗДУХА В ВЕНТИЛЯЦИОННОЙ СЕТИ С АКТИВНЫМ РЕГУЛЯТОРОМ

Достаточно эффективное управление расходами воздуха в локальной области сложной вентиляционной сети можно обеспечить, используя в качестве активных регуляторов вентиляторы местного проветривания (ВМП), устанавливаемые в подземных выработках без переключки. Достоинством такого типа регуляторов является то, что их установка не загромождает выработки, не мешает работе транспорта и проходу людей, а при необходимости могут использоваться в системе автоматического управления вентиляцией шахт.

Если проанализировать схемы установки ВМП в выработках, работающих по нагнетательной схеме проветривания, то можно выделить следующие две зоны, влияющие в определенной степени на аэродинамику воздушного потока.

Зона влияния всаса вентилятора. В этой зоне, с одной стороны, происходит взаимодействие потока воздуха в выработке со стоком на всасе вентилятора, с другой – по мере приближения воздушного потока к всасу вентилятора скорость его движения увеличивается. Увеличение скорости вызывает уменьшение статического давления. Так как эти изменения происходят за счет энергии ВМП, то появляющаяся в этом случае дополнительная величина разрежения будет способствовать увеличению некоторого количества воздуха, поступающего в данную выработку.

Зона влияния, вытекающей из вентилятора струи воздуха. Поступающий в вентилятор воздух выбрасывается затем с большой скоростью по направлению общего потока. Вытекающая струя

обладает значительным запасом кинетической энергии, которая передается окружающему потоку. Поскольку струя распространяется в ограниченном пространстве, то это приводит к изменению статической составляющей давления и возникновению эжекционного эффекта с последующим увеличением поступления воздуха в выработку. Исследованиями установлено [1], что депрессия, развиваемая активным источником тяги, определяется по формуле:

$$h_g = \frac{\rho}{2} \left[\pm 2v_g^2 \frac{S_g}{S} - (1,06 - 94\alpha)(v_1^2 - v_2^2) \right], \quad (1)$$

где h_g – депрессия, создаваемая в выработке активным потоком на выходе из вентилятора, Па;

v_g – средняя скорость потока воздуха на выходе из вентилятора, м/с;

$v_1 = Q/S$ – средняя скорость потока воздуха в выработке, м/с;

$v_2 = (Q - Q_g)/S$ – средняя скорость потока воздуха за вычетом расхода воздуха Q_g через вентилятор, м/с;

S – поперечное сечение выработки в месте установки вентилятора, м²;

S_g – поперечное сечение выходного отверстия вентилятора, м²;

ρ – плотность воздуха, кг/м³;

α – коэффициент аэродинамического сопротивления выработки, Па·с²/м².

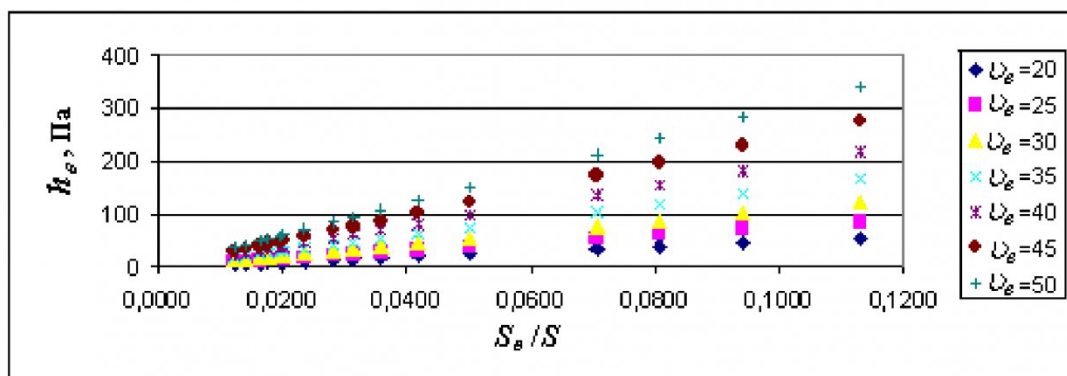


Рис. 1. Динамика изменения давления в выработке при работе активного регулятора

Знак «+» в формуле (1) следует брать при спутном взаимодействии потоков, знак «-» – для встречного взаимодействия струй.

Выражение (1) находится в сложной зависимости от ряда переменных величин: площади входного или выходного отверстия $S_в$, площади поперечного сечения S , где установлен данный вентилятор, количества воздуха, протекающего по выработке Q . На рис. 1, с целью выяснения диапазона изменения величины избыточного давления $h_в$ при изменении отношений $S_в/S$ (S изменялось в пределах 10, 12, 14, 16 м²) и скорости движения воздуха на выходе из вентилятора ($v_в$ изменялась в пределах 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50 м/с), были получены итоговые результаты анализа зависимости вида (1).

Поскольку рабочий диапазон скоростей на выходе из вентиляторов местного проветривания при их существующей производительности не превышает 40 м/с, то фактическое приращение депрессии в выработке с установленным вентилятором, как это следует из графика, не превысит 200 Па. Исходя из этого, рабочий диапазон изменения приращения давления в выработке с активным регулятором был принят равным от -200 Па до +200 Па.

Появляющаяся невязка депрессии $h_в$ в ветви с работающим вентилятором нарушает условие однозначности напоров в соответствующих контурах вентиляционной сети, в результате чего появляются корректирующие контурные потоки, которые приводят к перераспределению расходов воздуха, численные значения которых могут быть найдены из решения общеизвестной системы уравнений, формируемой на основе первого и второго законов сетей. Однако при частом изменении условий работы вентилятора для определения конечного результата необходимо на каждом очередном шаге регулирования решать многомерные нелинейные системы уравнений, что связано со значительными затратами труда и времени на оценку и выбор рациональных режимов проветривания выработок. Упростить решение можно, если использовать принцип взаимосвязанности потоков воздуха.

Вентиляционная сеть шахты или рудника является жестко связанным графом. Поэтому любые изменения аэродинамических характеристик в j -й управляющей выработке вызовут в большей или меньшей степени изменение расходов воздуха в любом i -м управляемом элементе вентиляционной схемы.

Для парных связей эта зависимость имеет вид $Q_i = f(h_{в,j})$, где Q_i – расход воздуха в i -й управляемой выработке; $h_{в,j}$ – депрессия, развиваемая активным регулятором в j -й управляющей выработке. Так как данная функция является непрерывной и имеет непрерывную производную, что вытекает из анализа первого и второго законов сетей, то для двух различных значений $h_{в,j}$ при

монотонном возрастании или убывании функции расхода воздуха в силу формулы Лагранжа будет иметь место равенство:

$$\frac{Q_{i,k} - Q_{i,n}}{h_{в,k} - h_{в,n}} = f'(h_{в,\xi}), \quad (2)$$

где $Q_{i,k}$ – конечный расход воздуха в i -й выработке, соответствующий состоянию активного регулятора при заданном значении $h_{в,k}$, м³/с;

$Q_{i,n}$ – начальное значение расхода воздуха в i -й выработке при условии, что на момент включения вентилятора в работу $h_{в,n} = 0$, м³/с;

$f'(h_{в,\xi})$ – производная от функции расхода, соответствующая значению депрессии источника тяги в промежутке между $h_{в,n}$ и $h_{в,k}$.

А так как на момент включения вентилятора в работу $h_{в,n} = 0$, то выражение (2) преобразуется к виду:

$$\frac{Q_{i,k} - Q_{i,n}}{h_{в,k}} = f'(h_{в,\xi}). \quad (3)$$

Если на некоторый момент времени для i -й выработки задан расход воздуха $Q_{i,n}$, соответствующий исходному воздухораспределению в вентиляционной сети при $h_{в,n} = 0$, то при изменении депрессии активного регулятора, установленного в j -й управляющей ветви, новое значение расхода воздуха $Q_{i,k}$ в i -й выработке может находиться из условия (3), т.е.:

$$Q_{i,k} = Q_{i,n} + f'(h_{в,\xi}) \cdot h_{в,j}. \quad (4)$$

Выражение (4) является условием взаимосвязанности вентиляционных потоков воздуха и с его помощью при известных значениях $f'(h_{в,\xi})$, где $0 < h_{в,\xi} < h_{в,k}$ можно оценить влияние j -го элемента на i -й управляемый поток воздуха. Параметр $f'(h_{в,\xi})$, представляет собой тангенс угла наклона стягивающей хорды между расходами воздуха в i -х ветвях на промежутке между $h_{в,n} = 0$ и его конечным значением $h_{в,k}$. Однако в современной технической и математической литературе нет приемлемых зависимостей для определения $f'(h_{в,\xi})$. Данный параметр вычисляется в каждом конкретном случае, исходя из общих свойств описываемого объекта исследования и условия задачи.

Так как геометрическая интерпретация производной $f'(h_{в,\xi})$ на рассматриваемом промежутке изменения расходов воздуха соответствует $tg\beta$, то есть тангенсу угла наклона стягивающей хорды, а производная в базовой точке $f'(h)$ равна $tg\alpha$, то есть тангенсу наклона касательной к кривой в базовой точке распределения расходов воздуха в расчетной схеме при $h_{в,n} = 0$, то их отношение может быть представлено в виде функции:

$$\frac{tg\beta_i}{tg\alpha_i} = f(h_{в,j}), \quad (5)$$

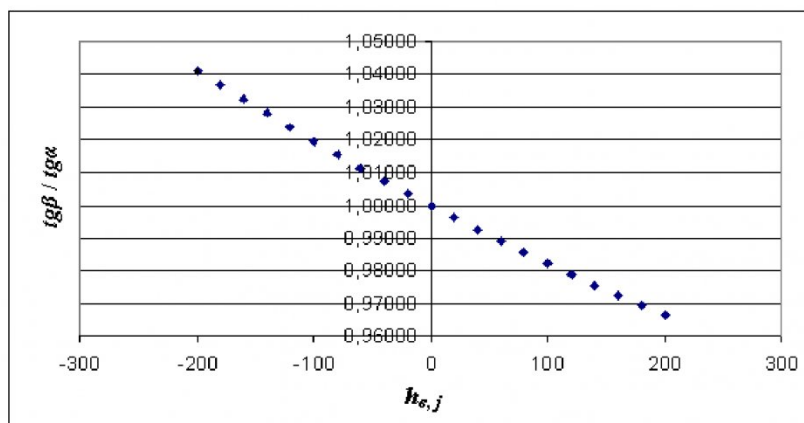


Рис. 2. Усредненная зависимость отношения $tg\beta/tg\alpha$ от изменения депрессии активного регулятора

где $i = 1, 2, 3, \dots, n$ – нумерация ветвей в расчетной схеме;

$tg\alpha_i$ и $tg\beta_i$ – значения тангенсов углов наклона касательной и стягивающей хорды для i -й ветви в расчетной схеме.

На рис. 2 показана усредненная зависимость $tg\beta_i / tg\alpha_i$ в процессе изменения депрессии активного регулятора для локальной области конкретно заданной вентиляционной схемы [2]. При этом область влияния активного регулятора ограничивалась ветвями, в прилегающих к регулятору выработках, депрессия которых не превышала 200 Па.

Представленная на графике зависимость $tg\beta/tg\alpha$ близка к линейной, и может быть описана зависимостью вида:

$$(tg\beta / tg\alpha) - 1 = k \cdot h_{в,j},$$

где k – угловой коэффициент наклона данной функции к оси $h_{в,j}$.

Отсюда следует, что

$$tg\beta = (k \cdot h_{в,j} + 1) \cdot tg\alpha. \quad (6)$$

Учитывая, что $f'(h_{в,j}) = tg\beta$, выражение (4)

с учетом (6) примет вид:

$$Q_{i,k} = Q_{i,n} + (k \cdot h_{в,j} + 1) \cdot h_{в,j} \cdot tg\alpha. \quad (7)$$

Установка активного регулятора в разных ветвях расчетной вентиляционной схемы приводит к изменению углового коэффициента k . Это связано с тем, что взаимодействие активного регулятора в новой ветви, в виду нелинейности системы, изменяет его аэродинамическое воздействие на характер распределения воздуха в управляемых ветвях. В этом случае для получения функциональной зависимости вида (7) необходимо определить новый угловой коэффициент.

Следует иметь в виду, что работа активного регулятора без перемычки накладывает некоторые особенности на определение расходов воздуха в вентиляционной системе. В стандартной методике для решения задачи естественного распределения

расходов воздуха в сложных вентиляционных сетях не предусмотрены варианты введения в расчет подобного типа регуляторов. В этой связи для определения искомых расходов воздуха в ветвях расчетной схемы рекомендуется к депрессии активного регулятора прибавлять депрессию выработки, в которой установлен регулятор.

Общий алгоритм построения функциональной зависимости влияния активного регулятора на управляемые потоки сводится к следующему.

1. Рассчитывается базовый вариант распределения расходов воздуха для заданной расчетной схемы $Q_{i,n}$ при $h_{в,n} = 0$.

2. Депрессии активного регулятора придается малое приращение $h_{в,n} = 0,5$ Па, и вычисляется конечное приращение воздуха $Q_{i,k}$.

3. Для каждой i -й ветви определяется $tg\alpha_i$ по формуле:

$$tg\alpha_i = \frac{Q_{i,k} - Q_{i,n}}{0,5}.$$

3. Для заданного значения депрессии $h_{в,k}$ вычисляются расходы воздуха $Q_{i,k}$ для i -х ветвей по стандартной методике, прибавляя к депрессии выработки депрессию активного регулятора, в которой установлен активный регулятор.

4. Для каждого значения депрессии $h_{в,k}$ и найденного расхода воздуха $Q_{i,k}$ определяется $tg\beta$. При любом изменении $h_{в,k}$ тангенс угла наклона стягивающей хорды находится из выражения:

$$tg\beta_i = \frac{Q_{i,k} - Q_{i,n}}{h_{в,k}}.$$

5. Для каждого значения депрессии $h_{в,i}$ по всем ветвям находится усредненное значение отношения $tg\beta_i / tg\alpha_i$.

Все точки усредненного отношения $tg\beta_i / tg\alpha_i$ наносятся на график, определяющий зависимость вида (5).

6. Для каждого усредненного значения отно-

шения $tg\beta_i / tg\alpha_i$ определяются угловые коэффициенты $k_m, m = \overline{1, p}$ по формуле:

$$k_m = \frac{tg\beta / tg\alpha - 1}{h_{e,m}}.$$

7. Вычисляется среднее значение углового коэффициента:

$$k_{cp.} = \frac{k_1 + k_2 + k_3 + \dots + k_m}{m}. \quad (8)$$

8. Формируется зависимость вида (7) для определения конечного расхода воздуха $Q_{i,k}$.

Рассмотрим решение задачи по определению подачи необходимого количества воздуха для разбавления до безопасной концентрации и выноса опасных газов в местах их скопления при условии использования активных регуляторов. При известной интенсивности поступления вредных газообразных компонентов в подземную выработку потребное количество воздуха для их разбавления определяется по формуле:

$$Q_i = \frac{100I_i}{C - C_0}, \quad (9)$$

где Q_i – количество воздуха, которое необходимо подать в i -ю выработку, m^3/c ;

I_i – интенсивность выделения газа в i -й выработке, m^3/c ;

C – предельно-допустимая концентрация газа в ис C_0 – концентрация газа в поступающей струе воздуха, %.

При условии работы активного регулятора в j -й управляющей выработке расход воздуха в i -й управляемой ветви с учетом (8) будет равен:

$$Q_{i,k} = Q_{i,n} + tg\alpha_i \cdot (k_{cp,j} \cdot h_{e,j} + 1) \cdot h_{e,j}, \quad (10)$$

где $Q_{i,k}$ – расход воздуха в i -й ветви при условии работы активного регулятора в j -й выработке, m^3/c ;

$Q_{i,n}$ – расход воздуха в i -й ветви на момент включения активного регулятора в работу, m^3/c ;

$k_{cp,j}$ – усредненная величина углового коэффициента влияния активного регулятора на локальную область анализируемой вентиляционной системы;

$h_{e,j}$ – депрессия, развиваемая активным регулятором в j -й выработке, Pa .

Поскольку необходимая подача воздуха в i -ю ветвь обеспечивается созданием необходимой депрессии $h_{e,j}$ при работе активного регулятора в j -й ветви, то расход воздуха $Q_{i,k}$, определяемый из (10), должен соответствовать расходу воздуха, определяемому из (9), т.е. $Q_{i,k} = Q_i$, или

$$Q_{i,n} + tg\alpha_i \cdot (k_{cp,j} \cdot h_{e,j} + 1) \cdot h_{e,j} =$$

$$= \frac{100I_i}{C - C_0}.$$

После несложных преобразований получим:

$$k_{cp,j} \cdot tg\alpha_i \cdot h_{e,j}^2 + tg\alpha_i \cdot h_{e,j} - \left(\frac{100I}{C - C_0} - Q_{i,n} \right) = 0.$$

Решая полученное квадратное уравнение, находим необходимую величину депрессии $h_{e,j}$, создаваемую работой активного регулятора для обеспечения подачи заданного количества воздуха в i -ю управляемую выработку:

$$h_{e,j} = \frac{-tg\alpha_i + \sqrt{tg^2\alpha_i + 4k_{cp,j} \cdot tg\alpha_i \times \sqrt{\times \cdot (100I / (C - C_0) - Q_{i,n})}}}{2k_{cp,j} \cdot tg\alpha_i}. \quad (11)$$

Имея в виду, что скорость потока воздуха на выходе из вентилятора $v_e \gg v_1$ и $v_e \gg v_2$, то формулу (1) можно упростить и к дальнейшему расчету принять, что

$$h_{e,j} = \rho \frac{S_e}{S} v_e^2. \quad (12)$$

Поскольку выражениями (11) и (12) определяется одна и та же депрессия активного регулятора, то, приравнявая их, получим следующее уравнение, позволяющее определять необходимые параметры для выбора активного регулятора:

$$2\rho k_{cp,j} \cdot tg\alpha_i \cdot v_e^2 \cdot S_e = S \left(\sqrt{tg^2\alpha_i + 4k_{cp,j} \cdot tg\alpha_i \times \sqrt{\times \cdot (100I / (C - C_0) - Q_{i,n})}} - tg\alpha_i \right). \quad (13)$$

Откуда при заданной скорости потока воздуха на выходе из вентилятора v_e , сечение выходного отверстия вентилятора или конфузора, подсоединяемого к вентилятору, должно соответствовать условию:

$$S_e = \frac{S \cdot \left(\sqrt{tg^2\alpha_i + 4k_{cp,j} \cdot tg\alpha_i \times \sqrt{\times \cdot (100I / (C - C_0) - Q_{i,n})}} - tg\alpha_i \right)}{2 \cdot v_e^2 \cdot \rho \cdot k_{cp,j} \cdot tg\alpha_i}. \quad (14)$$

Если необходимо определить скорость движения воздуха на выходе из вентилятора при заданном сечении выходного отверстия вентилятора S_e или конфузора, то из уравнения (13) следует:

$$v_e = \sqrt{\frac{S \cdot \left(\sqrt{tg^2\alpha_i + 4k_{cp,j} \cdot tg\alpha_i \times \sqrt{\times \cdot (100I / (C - C_0) - Q_{i,n})}} - tg\alpha_i \right)}{2 \cdot S_e \cdot \rho \cdot k_{cp,j} \cdot tg\alpha_i}}. \quad (15)$$

Производительность вентилятора при активном способе управления потоками воздуха определяется зависимостью вида $Q_v = v_v \cdot S_v$, учитывая которую следует выбирать необходимый тип вентилятора.

При установке активного регулятора в опасных по газу шахтах необходимо, чтобы количество поступающего к всасу вентилятора воздуха отвечало требованиям Правил безопасности

$$Q \geq 1.43 Q_v.$$

Таким образом, управляя параметрами S , S_v и v_v , можно усиливать или ослаблять воздействие активных регуляторов, работающих без переключки, на распределение расходов воздуха в вентиляционной сети, как в обычных условиях, так и в системе автоматического управления проветриванием шахт и рудников.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Левицкий Ж.Г.* Аэромеханика вентиляционных потоков. – Караганда: КарГТУ, 2003. – 228с.
2. *Левицкий Ж.Г., Нурғалиева А.Д.* Взаимосвязанность потоков воздуха в вентиляционной сети с активным регулятором // Вестник КузГТУ. – Кемерово, 2009. – № 4. – С. 13 – 16.

□ Авторы статьи:

Левицкий
Жорж Георгиевич,
докт.техн.наук, проф. каф. руднич-
ной аэрологии и охраны труда Кара-
гандинского государственного тех-
нического университета
Email: LG_36@mail.ru

Нурғалиева
Асель Данияловна,
канд.техн.наук (каф. рудничной аэ-
рологии и охраны труда Караган-
динского государственного техниче-
ского университета)
Email: m61ladn@mail.ru

УДК 622.

А. А. Рогачков, Л. М. Коновалов, А. В. Ремезов

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ КРЕПЛЕНИЯ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КАНАТНЫХ АНКЕРОВ В СЛОЖНЫХ УСЛОВИЯХ ШАХТ КУЗБАССА

Потеря устойчивости даже небольшого участка подготовительной выработки при существующих способах подготовки (спаренными штреками) и систем разработки (длинными столбами) приводит к значительному экономическому ущербу всей шахте. Практический опыт обеспечения устойчивости подготовительных выработок, расположенных в сложных условиях (участки сопряжений подготовительных выработок, участки выработок с повышенным водопритоком, зоны повышенного горного давления) шахт Кузбасса показал, что поддержание подготовительных выработок с использованием одной штанговой анкерной крепи без дополнительного ее усиления крайне сложно, а в ряде случаев, практически невозможно. Объемы перекрепления таких выработок превышают в 1,5-2 раза по сравнению с подготовительными выработками, поддерживаемых в массиве. Затраты от невынужденных простоев лав исчисляются десятками миллионов рублей, а подготовительные выработки перекрепляются уже с использованием нетехнологичной стоечной крепи (рис.1).

В последнее время для дополнительного усиления основной крепи подготовительных вырабо-

ток, поддерживаемых в сложных условиях, широко используют канатные анкера, различных конструкций и способов их заделки в массиве. Однако, анализ состояний контура подготовительных выработок и крепи усиления, в ряде случаев, дает основания полагать о существенных недостатках как в технологии крепления, так и в конструктивных особенностях используемых канатных анкеров [2].

Анализ результатов оперативных оценок состояний контура и крепи выработок, не сохранивших устойчивость на проектируемый срок службы, показывает, что элементы анкерной крепи, как основной (анкеры А20В), так и усиливающей (типовые канатные анкеры АК-01) видны в обрушенных породах в деформированном виде (порыв, изгиб, скручивание). Так, на шахте им. 7 Ноября, на типовых канатных анкерах в зоне обрушения пород кровли наблюдались следы застывшего полимерного мягкого состава отдельными участками протяженностью от 25 до 280 мм, а интервалы без состава в пределах 400-900 мм. Химический состав, заполняющий шпуров типовой канатного анкера мягкий, пористый и обнаруживался только в шпурах, а также в нижних слоях