

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Rusc B.C., Sofra F., Boger D.V. Sustainability, environmental rheology and full cost accounting of tailings disposal // Proceeding XXII mineral processing congress. - Cape Town. - 2003. - Vol. 3 (1732).
2. Wood K.R., McDonald G.W. Design and operation of thickened tailings disposal system at Les Mines Selbaic. - CIM Bulletin, 1985, №79 (895). Pp. 47-51.

УДК 622.451.001.5

Канд. техн. наук **Т.В. Бунько** (ІІІТМ НАНУ)

МЕТОД ИДЕНТИФИКАЦИИ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ СЕТЕЙ С НЕОПРЕДЕЛЕННЫМИ АЭРОДИНАМИЧЕСКИМИ ПАРАМЕТРАМИ

Наведено метод ідентифікації кількості повітря у шахтних вентиляційних мережах по частковій анемометричній зйомці, який включає диференціацію даних по достовірності, розрахунки кількості повітря у інцидентних вершинах, топологічні перетворення мережі, врахування двобічних обмежень на величину аеродинамічного опору виробок. Запропоновані якісні та кількісні принципи аналізу отриманого рішення.

METHOD IDENTIFICATION OF VENTILATION NETWORKS WITH THE NON-DEFINITION AIR-DYNAMIC PARAMETERS

Method identification quantity of air in the ventilation networks of mines for the part anemometrical making, which connects differentiation information for correctivity, calculations quantity of air in the incident summits, topological transformations of network, consideration of two-direction limitations on the value of air-dynamic resistance of mines was brong. Quantity and quality principles analysis of receiving decision was offered.

Задача параметрической идентификации шахтной вентиляционной сети (ШВС) с неопределенными аэродинамическими параметрами заключается в оценке достоверности значений расходов воздуха на всех участках сети и давлений во всех узлах сети на основании изменения только некоторых из этих переменных. В результате решения задачи по расчетным или экспериментальным данным будут определены значения аэродинамических сопротивлений, распределения депрессий и расходов воздуха во всех ветвях ШВС, удовлетворяющие сетевым законам.

Решение поставленной задачи выполняется:

- 1) подразделениями ГВГСС при построении математической модели ШВС по материалам воздушно-депрессионной съемки (ВДС).
- 2) ИТР участков вентиляции и техники безопасности при построении математической модели по результатам замеров воздуха в горных выработках;
- 3) технологами при актуализации математической модели ШВС.

В результате решения задачи идентификации аэродинамических параметров ШВС определяются:

- фактическая производительность, полный напор вентиляторов главного проветривания (ВГП), величина и направление действия естественной тяги, способствующей или противодействующей работе ВГП, аэродинамическое сопротивление и эквивалентное отверстие вентиляционной сети, на которую работает ВГП;

- общий расход воздуха, поступающий в подземные выработки и распределение его по ШВС; распределение потерь давления (депрессии) в горных выработках, их аэродинамическое сопротивление;

- величины утечек воздуха в ШВС через вентиляционные сооружения, выработанные пространства;

- обеспеченность воздухом шахты в целом и объектов проветривания, необходимый резерв воздуха и обеспеченность шахты достаточной производительностью ВП.

Анализ вентиляционной системы шахты как объекта идентификации проводится для определения основных аэродинамических параметров, характеризующих состояние вентиляции подземных выработок. Эти данные являются исходными для решения задачи параметрической идентификации ШВС с неопределенными аэродинамическими параметрами и разделяются на два класса. К первому классу относятся параметры, определяемые непосредственными измерениями, ко второму – задаваемые или вычисляемые на основе имеющихся закономерностей и априорной информации значения удельных аэродинамических сопротивлений, площади поперечного сечения выработок, коэффициенты удельного аэродинамического сопротивления и т.д.

Анализ ШВС предлагается выполнять в следующем порядке:

1) определить аэродинамические параметры ВП при их взаимодействии с ШВС;

2) произвести замеры расходов воздуха в основных воздухоподающих и вентиляционных выработках;

3) определить аэродинамические параметры (расходы воздуха и депрессии) вентиляционных устройств (перемычек, шлюзов, кроссингов). Если эти данные отсутствуют, то необходимо указать по трехбалльной системе (плохое, хорошее, удовлетворительное) состояние вентиляционных сооружений;

4) произвести замеры расходов воздуха и проверку обеспеченности им объектов проветривания (добычных участков, подготовительных выработок, камер).

Материалы, которые необходимы для анализа вентиляционной системы:

- список добычных и подготовительных участков камер и обособленно поддерживаемых выработок;

- характеристики ВП и график их работы;

- схемы и способы проветривания подготовительных выработок;

- схема вентиляции с нанесением основных вентиляционных сооружений, замерных станций и ВП, являющаяся графическим материалом, служащим для определения количества маршрутов и числа замеров расхода воздуха.

В настоящее время существует ряд работ, в которых предлагаются различные методы сбора информации об аэродинамических параметрах ШВС [1, 2, 3]. Однако практика применения этих методов показывает высокую трудоемкость и необходимость в больших затратах времени на дальнейшую обработку данных. Помимо этого, геометрические параметры горных выработок (сечение, длина) и состояние выработки постоянно меняются. Метод, предлагаемый в

представляемой работе, показывает, что оперативный сбор информации об аэродинамических параметрах ШВС можно производить путем максимального сокращения количества выработок, в которых необходимо проводить замеры, а точность и достоверность полученной информации можно существенно повысить путем обработки ее на ПЭВМ.

Отдельные элементы вентиляционной системы, в частности ВГП, оказывают определяющее влияние на решение задачи идентификации ШВС в целом. Поэтому обследование и сбор данных об этих элементах должен выполняться особо тщательно. Для этого необходимо определить аэродинамические параметры ВГП при работе их на сеть горных выработок, обследовать состояние вентиляционных каналов, лзд, перекрытий надшахтных зданий. Ими являются: производительность ВГП (средняя по замерам на всасывающей и нагнетательной сторонах); количество воздуха, выдаваемое ВГП из шахты (по замеру у ствола); подсосы (утечки) воздуха с поверхности в канал вентилятора, включающие подсосы через резервный вентилятор, рабочий и обводной каналы, вентиляционные сооружения канала и перекрытия устья вентиляционного ствола, напор ВГП, депрессии шахты, канала ВГП и его надшахтного здания, депрессия естественной тяги, помогающей или противодействующей работе ВГП;

В нормативном документе [2] рекомендуется маршруты анемометрической съемки выбирать таким образом, чтобы по замерам в минимальном количестве замерных станций определить расходы воздуха во всех основных выработках шахты. Анемометрическая съемка включает определение средних скоростей движения и расходов воздуха в горизонтальных выработках и каналах ВГП. В результате анемометрической съемки на маршрутах должна быть получена следующая информация: номер замерной станции; размеры площади поперечного сечения выработки; отсчеты по шкале анемометра; направление движения воздуха в выработке. Однако следует отметить, что в этом нормативном документе не используются возможности ПЭВМ при определении маршрутов анемометрической съемки и минимизации количества точек замеров расходов воздуха в сложных многовентиляторных ШВС.

В работе [3] предлагается постановка задачи идентификации аэродинамических параметров ШВС для случая, когда для каждого элемента ШВС известны расход воздуха и депрессия.

Представим вентиляционную сеть при проведении вентиляционных расчетов в виде графа $G(X, U)$, т.е. в виде узлов (множество X) и ветвей (множество U). (i, j) - ветвь шахтной вентиляционной сети (ШВС) - это элемент множества дуг $U = \{1, 2, 3, \dots, u, \dots, m\}$, m - количество дуг. В дальнейшем обозначения u , $u(i, j)$, (i, j) идентичны. Предполагается, что ветвь $u(i, j)$ выходит из узла i и входит в узел j . Соответственно, узел i - начальный, узел j - конечный, $i, j \in X = \{1, 2, 3, \dots, n\}$, n - количество узлов. В ряде ветвей ШВС выполнены замеры расходов воздуха $Q(i, j)$ и для некоторых элементов ШВС - депрессий $H(i, j)$.

Математическая постановка задачи идентификации аэродинамических параметров ПВС состоит в минимизации функционала:

$$F = \sum_{(i,j) \in U} \left[\frac{1}{(\delta^q_{(i,j)})^2} (Q(i,j) - Q^*(i,j))^2 + \frac{1}{(\delta^h_{(i,j)})^2} (H(i,j) - H^*(i,j))^2 \right] \rightarrow \min \quad (1)$$

при ограничениях:

$$\sum_{(i,j) \in U_l} \text{sign}(Q(i,j)) Q(i,j) = 0, \quad l = 1, n, \quad (2)$$

$$\sum_{(i,j) \in U_\mu} (\text{sign}(Q(i,j)) R(i,j) Q^2(i,j) \pm h_e) - \sum_{(i,j) \in (U_\mu \cap U_b)} H(i,j) = 0, \quad \mu = 1, m - n + 1 \quad (3)$$

$$H(i,j) = a(i,j) - b(i,j) Q^2(i,j), \quad (i,j) \in U_b, \quad (4)$$

$$H(i,j) \leq H_{\text{норм}}, \quad (i,j) \in U_b, \quad (5)$$

$$R(i,j) = \frac{\alpha(i,j) L(i,j)}{S^{2.5}(i,j)}, \quad (i,j) \in U_s, \quad (6)$$

$$Q(i,j) = S(i,j) V(i,j), \quad (i,j) \in U, \quad (7)$$

$$V^{\min}(i,j) \leq V(i,j) \leq V^{\max}(i,j), \quad (i,j) \in U, \quad (8)$$

$$R^{\min}(i,j) \leq R(i,j) \leq R^{\max}(i,j), \quad (i,j) \in U, \quad (9)$$

$$Q^{\min}(i,j) \leq Q(i,j) \leq Q^{\max}(i,j), \quad (i,j) \in U, \quad (10)$$

$$H^{\min}(i,j) \leq H(i,j) \leq H^{\max}(i,j), \quad (i,j) \in U, \quad (11)$$

где U_l - множество ветвей, инцидентных l -тому узлу; U_μ - множество ветвей, принадлежащих μ -тому независимому контуру; U_b - множество ветвей, отображающих ВГП; h_e - величина естественной тяги, действующая в μ -том независимом контуре; $L(i,j)$ - длина выработки, м; $S(i,j)$, $S^{\min}(i,j)$, $S^{\max}(i,j)$ - соответственно площадь поперечного сечения выработки, его минимальное и максимально допустимые значения, м²; $Q(i,j)$, $Q^{\min}(i,j)$, $Q^{\max}(i,j)$ - соответственно расход воздуха в выработке, его минимальное и максимально допустимые значения, м³/с; $H(i,j)$, $H^{\min}(i,j)$, $H^{\max}(i,j)$ - соответственно депрессия выработки, ее минимальное и максимально допустимые значения, Па; $H_{\text{норм}}$ - ограничение на величину общешахтной депрессии, Па; $V(i,j)$, $V^{\min}(i,j)$, $V^{\max}(i,j)$ - соответственно скорость движения воздуха в выработке, его минимальное и максимально допустимые значения, м/с; $R(i,j)$, $R^{\min}(i,j)$, $R^{\max}(i,j)$ - соответственно аэродинамическое сопротивление выработки, его минимальное и максимально допустимые значения, ед. СИ; α - коэффициент аэродинамического сопротивления выработки; $\delta^q(i,j)$, $\delta^h(i,j)$ - соответственно значения достоверности задания величин $Q(i,j)$, $H(i,j)$ в выработке; $a(i,j)$, $b(i,j)$ - коэффициенты аппроксимации характеристик ВГП, $Q^*(i,j)$, $H^*(i,j)$ - замерные значения расходов воздуха и депрессий горных выработок соответственно.

Минимизация функционала (1) является задачей нелинейного математического программирования, при этом учитываются следующие ограничения в виде равенств и неравенств:

- *физические ограничения*: законы распределения воздуха в ПВС (2), (3), зависимости между аэродинамическим сопротивлением выработки, ее сечением, длиной и коэффициентом аэродинамического сопротивления выработки (6), скоростью движения и расходом воздуха в выработке (7);

- *технологические ограничения* на возможные места установки регуляторов и на величины их аэродинамических сопротивлений, а также горных выработок (9);

- *режимные ограничения*: минимально и максимально допустимые скорости воздуха в выработке (8), расходы воздуха (10) и депрессии (11); максимально возможная величина общешахтной депрессии (5); уравнение, аппроксимирующее рабочую характеристику ВГП (4).

Исследование необходимых и достаточных условий существования минимума функционала (1) при ограничениях (2) и (3) показало, что функция цели (1) является выпуклой, т.к. представляет сумму выпуклых функций вида $\frac{1}{(\delta_{(i,j)}^q)^2} (Q(i,j) - Q^*(i,j))^2$ и $\frac{1}{(\delta_{(i,j)}^h)^2} (H(i,j) - H^*(i,j))^2$, т.е. функция имеет единственный экстремум.

Следует заметить, что постановка задачи идентификации аэродинамических параметров ПВС в условиях неполной и недостаточно достоверной информации должна быть пополнена двухсторонними ограничениями на переменные (8) – (11). В этом случае предполагается, что по расчетным формулам и экспериментальным зависимостям изменения аэродинамического сопротивления можно получить оценку верхнего и нижнего предела изменения аэродинамических параметров ПВС.

В постановке задачи учитывается качественная характеристика состояния выработки. Для этого множество выработок разбивается на 3 группы в зависимости от состояния выработки: 1- хорошее; 2- удовлетворительное; 3- плохое. Количественная оценка аэродинамического сопротивления выработки определяется по формуле (6).

Для решения задачи идентификации аэродинамических параметров ПВС в условиях неполной и недостаточно достоверной информации предлагается использовать метод множителей Лагранжа. При этом задача оптимизации с ограничениями преобразуется в эквивалентную задачу безусловной оптимизации, в которой фигурируют некоторые неизвестные параметры, называемые множителями Лагранжа [4]. В общем виде задача минимизации функций N переменных $F(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \rightarrow \min$ с учетом ограничений в виде равенства $h(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) = 0$ преобразуется в задачу безусловной оптимизации $L(x; v) = f(x) - v h(x) \rightarrow \min$, где $L(x; v)$ - функция Лагранжа; v - множитель Лагранжа.

Основными этапами метода идентификации неопределенных аэродинамических параметров ШВС являются следующие:

1. Решается задача структурной идентификации ШВС с неопределенной топологией методом, изложенным в [6].

2. В ветвях моделирующей ШВС определяются расходы воздуха, минимизирующие функционал (1) при выполнении ограничений (2), (8) – (11).

3. Полученное решение используется при минимизации функционала (1) и ограничений (3), (8) – (11).

4. По полученным в результате реализации этапов 2 и 3 расходам воздуха и депрессиям в ветвях ШВС вычисляются их аэродинамические сопротивления.

5. Выполняется расчет естественного воздухораспределения (контроль выполнения ограничений (2) и (3)). Определяются численные значения критериев адекватности моделируемой и реальной ШВС.

7. Делается вывод о корректности полученного решения задачи идентификации аэродинамических параметров ШВС.

Предложенный метод может найти применение при расчетах сложных многовентиляторных систем современных угольных шахт, где в период между проведением ВДС получение достоверных значений аэродинамических параметров ряда участков ШВС затруднительно, поскольку он предлагает вариант целенаправленного поиска таких из них, использование информации, о состоянии которых необходимо и достаточно для получения решений задач воздухораспределения с необходимой степенью достоверности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрамов Ф.А., Тяп Р.Б., Потемкин В.Я. Расчет вентиляционных сетей шахт и рудников. - М.: Недра, 1978. - 238 с.
2. Руководство по проведению депрессионных и газовых съемок в угольных шахтах. - Донецк: ВНИИГД, 1989. - 74 с.
3. Евдокимов А.Г. Минимизация функций и ее приложение к задачам автоматизированного управления инженерными сетями. - Харьков: Виша школа, Из-во при Харьк. ун-те, 1985. - 288 с.
4. Руководство по проектированию вентиляции угольных шахт. - К.: Основа, 1994. - 311 с.
5. Реклейтис Г., Рейвиндран А., Рэгсел К. Оптимизация в технике: В 2-х кн.. Кн. 1. Пер. с англ. - М.: Мир, 1986. - 347 с.
6. Структурная идентификация шахтной вентиляционной сети / А.Ф. Булат, Т.В. Бунько, И.Е. Кокоулин // Уголь Украины. - 2004. - №1. - С. 31-35.