

ОБ ОДНОЙ ЗАДАЧЕ УПРАВЛЕНИЯ ПОТОКАМИ В ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ СЕТЯХ ШАХТ С ИЗБЫТКАМИ В ВЕТВЯХ

В. М. Михайленко

Харьков

Система проветривания шахты представляет собой в общем случае весьма сложную пространственную вентиляционную сеть с рассредоточенными в ней активными (вентиляторами) и пассивными (дресселирующими устройствами) регулирующими органами. Геометрически сеть отображается некоторым сильно связным графом $G(X, U)$, где X множество вершин $x_i \in X$ и U множество дуг $u_i \in U$. Будем считать, что параметры вентиляторов и регулирующих органов, а также их расположение заданы. Тогда состояние вентиляционной сети определяется вектором $\bar{W} = (W_1, \dots, W_m)$, характеризующим координаты регулирующих органов системы, и вектором $\bar{S} = (\bar{q}, \bar{h})$, характеризующим состояние воздухораспределения в сети. Вектор $\bar{S}$ состоит из двух составляющих: вектора $\bar{q} = (q_1, \dots, q_m)$, определяющего координаты дебитов воздуха в ветвях сети, и вектора $\bar{h} = (h_1, \dots, h_m)$, определяющего депрессии в этих ветвях.

Определение 1. Вентиляционный режим, характеризуемый векторами $\bar{W}$ и $\bar{S}$ и допускающий изменение составляющих вектора $\bar{q}$ (а, следовательно, и составляющих вектора $\bar{h}$) в пределах, допускаемых Правилами безопасности (ПБ), будем называть нормальным.

Задача оптимального управления потоками в сетях с нормальным режимом частично рассмотрена в [3].

Практический и теоретический интерес представляет решение вопросов, связанных со стабилизацией вектора $\bar{q}^{(изб)}$ (а, следовательно, и $\bar{h}^{(изб)}$), вызванного резким скачком давления в сети, и выводящего систему из нормального состояния.

Определение 2. Вентиляционный режим, характеризуемый векторами $\bar{W}$ и $S^*(\bar{q}, \bar{h})$, $q^{(изб)}$, $h^{(изб)}$, называется аварийным.

Согласно [1], составляющая вектора $\bar{h}^{(изб)}$

$$h_i^{(изб)} = \varphi_{0i} - \varphi_{1i} |q_i|^{n_{pi}}, \quad (i = 1, \dots, m), \quad (1)$$

где φ_{0i} и φ_{1i} — постоянные величины, определяемые параметрами (аэродинамическими сопротивлениями r_i , коэффициентами турбулентности n_{pi} высотными Δz_i и температурными Δt_i отметками и т. д.) i -той ветви сети.

Пусть направление составляющих вектора $\bar{h}^{(изб)}$ задано некоторым множеством

$$B = \{\beta_1, \dots, \beta_m\}, \quad (2)$$

где β_i — коэффициент, показывающий совпадение ($\beta_i = -1$) или несовпадение ($\beta_i = 1$) направлений избыточной депрессии i -той ветви с выбран-

ным направлением этой ветви при использовании метода контуроразделения [2].

Тогда математическое описание конечных состояний потокораспределения в сети с учетом (1, 2), согласно [2], определяется системой уравнений отдельных ее ветвей

$$h_i = h_l(q_i, W_i) + h_i^{(\text{изб})}(q_i^{(\text{изб})}, W_i), \quad (i = 1, \dots, m) \quad (3)$$

и системой матричных уравнений, приведенной в [2] и уточненной согласно (1, 2, 3),

$$a) \quad q_i = \sum_{r=1}^s K_{2ri} q_r, \quad (i = s+1, \dots, m)$$

$$б) \quad h_r = \sum_{i=s+1}^m k_{2ri} h_i, \quad (r = 1, \dots, s). \quad (4)$$

Перед тем как сформулировать нашу задачу, определим условие устойчивости требуемого вентиляционного режима.

Определение 3. Вентиляционный режим, согласно [3, 4], устойчив, если соблюдается неравенство

$$\frac{\sum_{i=1}^m h_{\text{вн. } i}}{\sum_{i=1}^m h_{\text{н. } i}} < \frac{\sum_{i=1}^m R_{\text{вн. } i}}{\sum_{i=1}^m R_{\text{н. } i}} \quad (5)$$

при условии $r_{pi} \in V_1$, где V_1 множество дуг $v_{li} \in V_1 \cap U$, образующих контур с вентилятором и наибольшей депрессией.

Здесь $\sum_{i=1}^m h_{\text{вн. } i}$, $\sum_{i=1}^m R_{\text{вн. } i}$ — соответственно равнодействующие депрессия и аэродинамическое сопротивление внутренней части системы (см. рисунок а, слева от сечения I—I);

$\sum_{i=1}^m h_{\text{н. } i}$, $\sum_{i=1}^m R_{\text{н. } i}$ — соответственно равнодействующие депрессия и аэродинамические сопротивления внешней части системы (см. рисунок б, справа от сечения I—I).

Определение 4. Количество перемычек (перемычкой называется пассивное регулирующее устройство с $r_n = \infty$), согласно [4, 5], равно количеству диагональных ветвей, расположенных правее сечения I—I (рис. 1, а), включая сечение. Используя определение 4, преобразуем сеть (рис. 1, а) к виду, показанному на рис. 1, б. Пусть геометрическим образом полученной сети является некоторый подграф $G_1(X, U_1)$, где X — множество вершин $x_i \in X$, а U_1 — множество дуг $v_{li} \in U_1$.

Используя метод контуроразделения, произведем кодировку сети, заданной подграфом $G_1(X, U_1)$. Главное дерево графа $G(X, U)$ можно выбрать таким образом, чтобы главное дерево подграфа $G_1(X, U_1)$ включало только оставшиеся после преобразования ветви дерева графа $G(X, U)$. Произведем нумерацию ветвей таким образом, чтобы ветвь с вентилятором стала связью. При этом часть ветвей с дросселирующими устройствами z_1 станет связями, а часть z_2 — ветвями дерева. Пусть связь с вентилятором имеет номер θ ($\theta = 1$). Тогда связи с дросселирующими устройствами занумеруем от $\theta + 1$ до z_1 , связи без дросселирующих

устройств — от $\theta + z_1 + 1$ до s . Ветви дерева с дросселирующими устройствами занумеровуем от $s + 1$ до z_2 , остальные ветви дерева — от $z_2 + 1$ до m .

Сформулируем нашу задачу математически. Определить режим работы вентилятора $h_r^{(b)}$ ($r = \theta = 1$) и величины сопротивлений регулирующих органов r_{pi} ($i = \theta + 1, \dots, \theta + z_1, s + 1, \dots, z_2$) при соблюдении (5), обращающих в минимум некоторую функцию цели N , обусловленную взаимосвязью векторов $\bar{W}$ и $\bar{S}^*$, или

$$N_{\min} = \min_{\bar{W} \in \Omega(\bar{W})} N(\bar{h}, \bar{h}^{(нзб)}, \bar{q}, \bar{q}^{(нзб)}), \quad (6)$$

где $\Omega(\bar{W})$ — допустимая область изменения координат регулирующих органов.

По аналогии с [3] такой функцией цели является мощность, расходуемая на получение требуемого вентиляционного режима и, согласно [6], определяемой выражением

$$N = \frac{1}{102} \sum_{i=1}^m q_i (h_i^{(a)} + h_i^{(нзб)}), \quad (7)$$

или, расписывая $h_i^{(a)}$ и $h_i^{(нзб)}$ согласно [2] и [3], получим

$$N = \frac{1}{102} \sum_{i=1}^m (r_i |q_i|^{n_i+1} + r_{pi} |q_i|^{n_{pi}+1}) + \frac{\beta}{102} \sum_{i=1}^m (\varphi_{0i} q_i - \varphi_{1i} |q_i|^{n_{pi}+1}). \quad (8)$$

Итак, еще раз сформулируем нашу задачу математически. Требуется определить

$$h_r^{(b)} (r = \theta = 1) \text{ и } r_{pi} (i = \theta + 1, \dots, \theta + z_1, s + 1, \dots, s + z_2),$$

обращающих в минимум функцию цели (8) при следующих ограничениях

$$a) q_r = q_r^*, (r = 1, \dots, s);$$

$$б) q_i = \sum_{r=1}^s K_{2ri} q_r^* = q_i^*, (i = s + 1, \dots, m);$$

$$в) \sum_{i=s+1}^{s+z_2} K_{2ri} \text{sign } q_i^* |q_i^*|^{n_{pi}} + H_r^{(e)} - h_r^{(b)} + \beta_r h_r^{(нзб)} = 0, (r = \theta = 1);$$

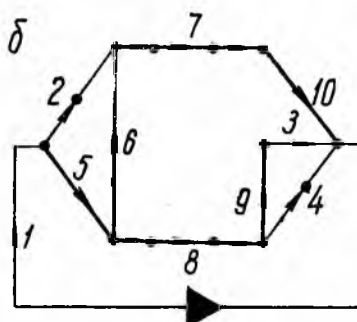
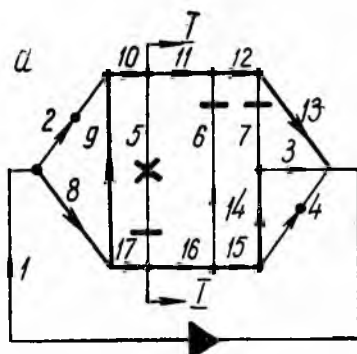
$$г) \text{sign } q_r^* r_{pr} |q_r^*|^{n_{pr}} + \sum_{i=s+1}^{s+z_2} K_{2ri} \text{sign } q_i^* r_{pi} |q_i^*|^{n_{pi}} + H_r^{(e)} +$$

$$+ \beta_r h_r^{(нзб)} = 0, (r = \theta, \dots, z_1); \quad (9)$$

$$д) \sum_{i=s+1}^{z_2} K_{2ri} \text{sign } q_i^* r_{pi} |q_i^*|^{n_{pi}} + H_r^{(e)} + \beta_r h_r^{(нзб)} = 0, r = (\theta + z_1 + 1, \dots, z_2);$$

$$е) r_{pi} \geq 0, (r = \theta + 1, \dots, \theta + z_1, s + 1, \dots, s + z_2);$$

$$ж) h_r^{(b)} > 0, (r = \theta = 1);$$



з) неравенство (5),

где

$$H_r^{(e)} = \text{sign } q_r r_r |q_r|^{n_r} + \sum_{i=s+1}^m K_{2ri} \text{sign } q_i |q_i|^{n_i} -$$

естественная депрессия r -того контура.

Здесь и везде $s = m - n + 1$ — цикломатическое число сети;

K_{2ri} — элемент матрицы контуров для ветвей дерева сети при использовании метода контуроразделения;

q_i и h_i — дебит и депрессия i -той ветви дерева сети,

q_r и h_r — дебит и депрессия r -той связи сети;

r_i , n_i — соответственно аэродинамическое сопротивление и коэффициент турбулентности i -той ветви сети ($i = 1, \dots, m$);

$\text{sign } q_i$ — знак q_i ;

$\text{sign } q_i = 1$, если $q_i > 0$; $\text{sign } q_i = -1$, если $q_i < 0$.

Равенство (9а) определяет требуемые значения дебитов в ветвях сети. Ограничение (9е) отображает неотрицательность сопротивлений дросселирующих устройств.

Принимая во внимание [4] и определение 4, можно показать, что число дросселирующих устройств равно $s + z_2$. Следовательно, согласно [3], данная задача является задачей оптимального выбора требуемого вентиляционного режима.

Учитывая, что вектор $\bar{q} = \bar{q}^* = \text{const}$, функцию цели N заменяем другой $N_1 = 102(N - N_0)$, где

$$N_0 = \frac{1}{102} \left[\sum_{i=1}^m |q_i^*|^{n_i} (r_i q_i + \beta \varphi_{0i}) \right] = \text{const},$$

а систему уравнений (9в, 9г, 9д) записываем следующим образом:

$$\text{а) } h_r^{(b)} - \sum_{i=s+1}^{s+z_2} K_{2ri} a_i r_{pi} = B_r, \quad (r = \Theta = 1);$$

$$\text{б) } - \left(a_r r_{pr} + \sum_{i=s+1}^{s+z_2} K_{2ri} a_i r_{pi} \right) = B_r, \quad (r = \Theta + 1, \dots, z_1);$$

$$\text{в) } - \sum_{i=s+1}^{s+z_2} K_{2ri} a_i r_{pi} = B_r, \quad (r = \Theta + z_1 + 1, \dots, z_2),$$

где

$$a_j = \text{sign } q_j^* |q_j^*|^{n_j} = \text{const}, \quad (j = \Theta + 1, \dots, \Theta + z_1, s + 1, \dots, s + z_2);$$

$$B_r = H_r^{(e)} + B_r (\varphi_{0r} - \varphi_{1r} |q_i^*|^{n_{pi}} = \text{const} \quad (r = 1, \dots, s).$$

Следовательно, в рассматриваемой задаче следует определить

$$h_r^{(b)} (r = \Theta = 1) \text{ и } r_{pi} (i = \Theta + 1, \dots, \Theta + z_1, s + 1, \dots, s + z_2),$$

которые соответствуют минимуму линейных функций цели

$$N_1 = \sum_{i=1}^{\Theta+z_1} c_i r_{pi} + \sum_{i=s+1}^{s+z_2} c_i r_{pi} - \beta \sum_{i=1}^m c_i \varphi_{1i},$$

где

$$c_i = |q_i^*|^{n_{pi}+1} = \text{const}, \quad (i = 1, \dots, m).$$

Следовательно, что в данной задаче требуемое воздухораспределение задается в $z_1 + z_2$ ветвях, т. е. данная задача является задачей линейного программирования и может быть легко реализована на ЭЦВМ.

В ХИРЭ такая задача реализована на ЦВМ «Урал-2» для конкретной вентиляционной сети.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. И. Воскобойников. Расчет вентиляционного режима при подземных пожарах. Горноспасательное дело. Сборник № 4, Изд-во «Недра», 1961.
2. А. А. Волков, А. Г. Евдокимов. Математическое описание установившихся процессов воздухораспределения в вентиляционных сетях шахт. «Изв. вузов, Горный журнал», № 2, 1965.
3. А. А. Волков, А. Г. Евдокимов. Алгоритмы оптимального управления распределением воздуха в шахтных вентиляционных сетях. ГОСИНТИ, М., 1965.
4. Ю. В. Григорьев. Исследование влияния тепловой депрессии при подземных пожарах. Автореф. канд. диссертации, Л., 1965.
5. Правила безопасности в угольных и сланцевых шахтах. Изд-во «Недра», 1964.
6. А. Д. Багриновский. Метод электрических аналогий для расчета вентиляционных сетей. ИГДАН им. Скочинского. Тезисы докладов и сообщений на сессии ученого совета по вопросам применения математических методов и вычислительной техники в горном деле. Сборник 11. Изд-во «Наука», 1962.