

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЛАСТИ УПРАВЛЯЕМОСТИ ПОТОКОВ В СЛОЖНЫХ СЕТЯХ

Р. Т. Волколупова

Харьков

Для решения задачи синтеза оптимальной системы регулирующих органов в шахтной вентиляционной сети необходимо определить область управляемости потоков в каждой базисной ветви. Задача синтеза оптимального по энергозатратам управления потокораспределением в сети является частной задачей рассматриваемой. Решив ее, найдем конечное множество допустимых базисов расположения регулирующих органов.

Чтобы получить единственный глобальный оптимальный базис расположения регулирующих органов, надо найти критерий соответствия области управляемости и области управления D . Базис, который имеет максимальное значение критерия D , является глобальным.

Пусть математическое ожидание требуемого потока в i -й ветви сети равняется q_i^* , а вероятностная область управления $\Omega(q_i^*)$ потока характеризуется величиной $q_{i\max}^* - q_{i\min}^*$ при условии, если во всех остальных базисных ветвях сети потоки равны их заданным математическим ожиданиям. Область управляемости $\Omega(q_i) = \varepsilon$ потоками q_i в i -й ветви задается отклонениями $\varepsilon_i^{(1)}$ и $\varepsilon_i^{(2)}$, где

$$\varepsilon_i^{(1)} = q_i^* - q_{i\min}; \quad \varepsilon_i^{(2)} = q_{i\max} - q_i^*.$$

Тогда эффективная область управляемости

$$\Omega_{\text{эф}}(q_i) = \left[1 - \frac{|\varepsilon_i^{(1)} - \varepsilon_i^{(2)}|}{\varepsilon_i^{(1)} + \varepsilon_i^{(2)}} \right] (\varepsilon_i^{(1)} + \varepsilon_i^{(2)}) = 2 \inf_{\zeta \in \Phi} \varepsilon_i^{(\zeta)}, \quad (1)$$

где $\inf_{\zeta \in \Phi} \varepsilon_i$, $\Phi = \{1, 2\}$ — меньшее из двух $\varepsilon_i^{(1)}$ и $\varepsilon_i^{(2)}$ отклонений границ $q_{i\min}$ и $q_{i\max}$ области управляемости $\Omega(q_i)$ от значения q_i^* .

Разделив $\Omega_{\text{эф}}(q_i)$ на величину q_i^* , получим критерий относительного значения эффективной области управляемости

$$\delta_i = \frac{\Omega_{\text{эф}}(q_i)}{q_i^*}. \quad (2)$$

Тогда основной критерий оценки базисов расположения регулирующих органов в сети

$$D_j = \sum_{i \in S_j} c_i \delta_i, \quad (3)$$

где c_i равен единице, если в i -й ветви базиса поток регулируется, и нулю, если поток в ней не регулируется;

S_j — множество ветвей базиса,

Таким образом, для выбора единственно оптимального по энергозатратам базиса расположения регулирующих органов в сети необходимо знать область управляемости $\Omega(q_i)$ в каждой базисной ветви, т. е. найти допустимые пределы изменения потоков $q_{i\min}$ и $q_{i\max}$.

Для определения этих величин разработан метод целенаправленного поиска. Используем его для получения одной из границ изменения потока, например $q_{i\max}$, считая, что другая граница $q_{i\min}$ определяется аналогичным образом.

При любом изменении потока q_i в некоторой базисной ветви и постоянных значениях потоков в остальных базисных ветвях $q_v, \forall v \in S_j$ изменяются значения потоков q_l в ветвях дерева графа. Это вызовет изменение правых частей системы уравнений, описывающей второй закон вентилационных сетей с заданным воздушнораспределением. Если поток q_i в базисной ветви превысит граничное значение, то правые части станут отрицательными, что недопустимо. Поэтому, используя метод целенаправленного поиска, необходимо найти такое значение $\sup q_i = q_{i\max}$, при котором правые части системы уравнений обратились бы в нуль.

Пусть на числовой оси потока q_i определен некоторый отрезок его изменения $[q_i^*, q_\lambda]$, где q_i^* — математическое ожидание требуемого значения потока в этой ветви, а q_λ — максимально возможное значение потока в i -й ветви. Тогда искомая величина $q_{i\max}$ находится на этом отрезке. Первое приближение определяется по формуле

$$q_{i1} = q_i^* + \frac{q_\lambda - q_i^*}{2}. \quad (4)$$

Найденное значение q_{i1} делит отрезок на два $[q_i^*, q_{i1}]$ и $[q_{i1}, q_\lambda]$. Следующее приближение q_{i2} находится на одном из них. Если правые части системы уравнений при новом q_{i1} и значениях q_j , приведенных в соответствие с q_{i1} по формуле $q_j = B_{2j} q_i$, положительны, то $q_{i\max}$ находится на отрезке $[q_{i1}, q_\lambda]$ и следующее приближение вычисляется по формуле

$$q_{i2} = q_{i1} + \frac{q_\lambda - q_{i1}}{2}. \quad (5)$$

Если же хотя бы одно значение правых частей системы уравнений при q_{i1} отрицательное, то искомая величина $q_{i\max}$ лежит на отрезке $(q_i^*, q_{i1}]$ и следующее приближение вычисляется по формуле

$$q_{i2} = q_i^* + \frac{q_{i1} - q_i^*}{2}. \quad (6)$$

Аналогичным образом q_{i2} разбивает область определения $q_{i\max}$ на две подобласти, одна из которых содержит искомую величину. Следующее приближение q_{in} определяется по формулам (5) и (6) с учетом изменения области их определения. Следовательно, область поиска граничного значения резко сужается с каждой итерацией.

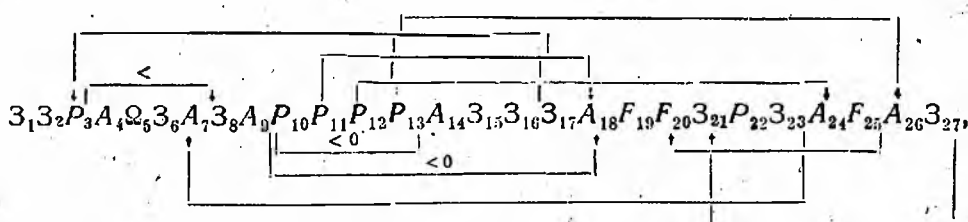
Описанный метод имеет быструю сходимость и за небольшое количество итераций можно получить значение $q_{i\max}$ с требуемой точностью. В разработанном для этого метода алгоритме, достижение требуемой точности проверяется методом сравнения разности значений двух соседних приближений $(q_{in} - q_{i,n-1})$ с ε (заданная точность вычисления).

Область определения искомого граничного значения потока $q_{i\max}$ изменяется путем передачи управления на различные части алгоритма

в зависимости от допустимости или недопустимости системы уравнений, описывающей сеть.

Составленная для ЭЦВМ М-20 программа определения области управляемости позволила проверить рассмотренный метод целенаправленного поиска и дать ему практическое применение. Этот метод может быть использован как для решения задачи синтеза оптимальной системы регулирующих органов в шахтной вентиляционной сети, так и для решения любой задачи, где требуется найти граничное изменение ветви на заданном отрезке. Программа рассчитана на решение рассматриваемой задачи для сетей, имеющих около 2000 ветвей. Метод целенаправленного поиска на ЭЦВМ М-20 для сети средней величины реализуется за 2—3 минуты.

Операторная схема программы определения области управляемости имеет вид



где Z_1 — очистка счетчика ветвей;

Z_2 — запоминание начальных значений q_i ;

P_3 — разность m -текущего и m максимального;

A_4 — печать $q_{i\max}(\min)$;

Ω_5 — конец алгоритма;

Z_6 — вычисление $q_k = B'_2 q_r$, где $k = s + 1, \dots, m$; $r = 1, \dots, s$;

A_7 — запоминание начального значения $q = q_j$, формирование $q_{i\min} = q_{i\max} = q_k$;

Z_8 — очистка рабочего поля правых частей системы уравнений;

A_9 — вычисление правых частей;

P_{10} — анализ правых частей на знак;

P_{11} — передача управления первая (для случая, когда правые части изменяются так: > 0 затем < 0);

P_{12} — передача управления вторая (для случая, когда правые части изменяются по схеме $< 0, > 0$, затем < 0);

P_{13} — передача управления третья (для случая, когда правые части $> 0, < 0, > 0$, затем > 0 и т. д.);

A_{14} — прибавление единицы в счетчик ветвей (m текущее);

Z_{15} — восстановление первоначального значения программы;

Z_{16} — пересылка текущих значений q_i как значений $q_{i\max}$ в массив результата;

Z_{17} — восстановление первоначальных значений q_i и настройка программы на поиск $q_{i\max}(\min)$ следующего q_i ;

$$A_{18} - q_i^e = q_i^{e-1} + \frac{q_i - q_i^{e-1}}{2};$$

F_{19} — формирование первой передачи управления;

F_{20} — формирование второй передачи управления;

Z_{21} — запоминание q_i^{e-x} как последнего значения q , при котором правые части меньше нуля;

P_{22} — сравнение $q_j^e - q_j^{e-1}$ с ε ;

Z_{23} — восстановление программы;

$$A_{24} - q_j^e = q_j + \frac{q_j^{e-1} - q_j}{2}$$

F_{25} — формирование третьей передачи управления;

$$A_{26} - q_j^e = q_j^{e-1} + \frac{q_j^{e-x} - q_j^{e-1}}{2};$$

Z_{27} — уничтожение команды запоминания значения q_j^{t-x} .