

ЭНЕРГЕТИКА

С. Г. АКОПЯН

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ДИАКОПТИКИ К РАСЧЕТУ
 ПОТОКОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ БОЛЬШИХ СИСТЕМ
 ТРАНСПОРТА ГАЗА

В работах [1, 2] рассматривается метод расчета потокораспределения стационарного режима сложной газотранспортной системы (ГТС) для различных ситуаций: когда в каждом узле заданы либо узловые отборы (притоки) газа, либо узловые давления. Определению подлежат неизвестные узловые параметры и потоки по дугам (участкам) ГТС.

Одним из методов, позволяющих получить решение задачи потоко-распределения большой системы транспорта газа, является эффективный аппарат теории диакоптики — метод расчленения сети [2, 3]. Сущность этого метода заключается в разделении большой системы на ряд подсистем (частей) малой размерности, с учетом размещения задачи большой размерности на ЦВМ, увеличения быстродействия алгоритма, уменьшения оперативной памяти ЦВМ, а также представления информации к удобному и компактному виду.

В настоящее время известно много методов и алгоритмов, касающихся решения систем линейных алгебраических уравнений большой размерности [4], но их вряд ли можно эффективно использовать при решении задач потоко-распределения большой системы транспорта газа, описываемых уравнениями узловых давлений с переменными элементами матрицы проводимостей и правой части [1, 2].

В настоящей работе рассматривается применение метода расчленения сети к расчету потоко-распределения больших систем транспорта газа с учетом особенности решения задачи с помощью уравнений узловых давлений. Чтобы применить метод расчленения сети к системе уравнений узловых давлений [1, 2]

$$\sum_{k=1}^n g_{jk} \cdot P_k = b_j, \quad j = 1, 2, \dots, m, \quad (1)$$

необходимо матрицу проводимостей $G = [g_{jk}]$ привести к блочно-диагональному виду, что может быть выполнено с помощью матрицы перестановок T :

$$G' = TGT', \quad (2)$$

где G' — матрица, приведенная к блочно-диагональному виду; T^t — транспонированная матрица по отношению к T .

Метод расщепления сети формулируется следующим образом: первоначальная нерасщепленная ГТС имеет s узлов, из которых m — независимые, где заданы узловые расходы (отборы или притоки) q_j ($j = 1, 2, \dots, m$), и требуется определить узловые давления P_k ($k = 1, 2, \dots, m$), $s - m$ балансирующих узлов, где заданы давления P_r ($r = m + 1, m + 2, \dots, s$), но требуется определить узловые расходы q_r . Система разделяется на h подсистем так, чтобы в каждой подсистеме было не меньше одного балансирующего узла. Пусть количество внешних связывающих газопроводов в системе будет γ .

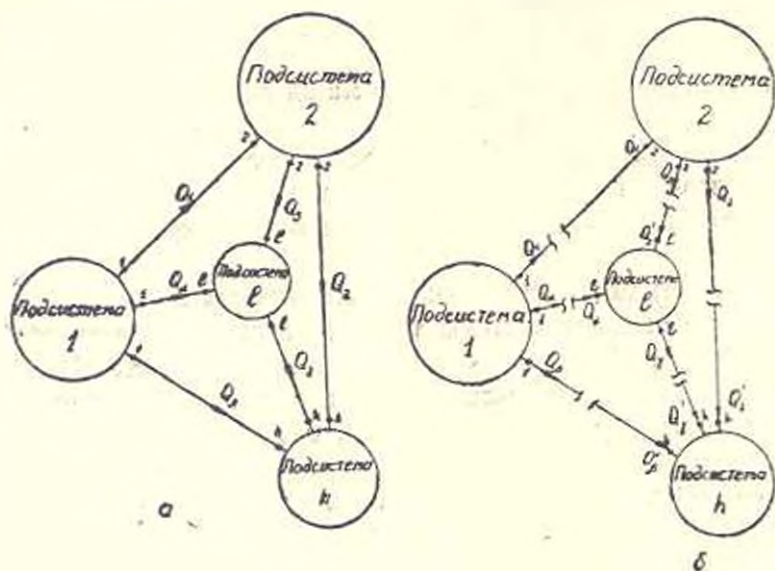


Рис. 1.

Если разорвать схему рис. 1а в точках 1, 2, ..., 1, ..., h, то необходимыми и достаточными условиями сохранения равновесия в схеме рис. 1б по сравнению со схемой рис. 1а будут условия равенства входных и выходных потоков каждой подсистемы:

$$\begin{aligned} Q_1 &= Q'_1; & Q_2 &= Q'_2; & Q_3 &= Q'_3; \\ Q_4 &= Q'_4; & Q_5 &= Q'_5; & Q_6 &= Q'_6. \end{aligned} \quad (3)$$

Условия (3) осуществляются в уравнениях связи потоков от начального и конечного давлений соответствующих узлов, связывающих газопроводы между подсистемами, т. е.:

$$\begin{aligned} P_1 - P_2 &= C_1 Q_1; & P_2 - P_h &= C_2 Q_2; & P_2 - P_l &= C_3 Q_3; \\ P_1 - P_l &= C_4 Q_4; & P_1 - P_h &= C_5 Q_5; & P_l - P_h &= C_7 Q_7, \end{aligned} \quad (4)$$

где P_u — давление в узловых точках $u = 1, 2, \dots, l, \dots, h$; $C_1, C_2, \dots, C_l, \dots, C_h$ — параметры, зависящие от давления узлов и определяемые согласно [1, 2].

При фиксации значений потоков $Q_1, Q_2, \dots, Q_l$ оставшиеся переменные, находящиеся внутри каждой подсистемы n , можно определять независимо друг от друга. Тогда обобщенная модель n подсистем может быть получена путем составления для каждой из изолированных подсистем систем уравнений узловых давлений, которые по принятым в [1, 2] обозначениям имеют вид:

[illegible]

В уравнениях (5) значения потоков $Q_1, Q_2, \dots, Q_n$ внешних связей, входящих газопроводов входят как правые части и их можно выразить через давления узлов согласно уравнениям (4) и подставить в (5). При этом матрица системы (5) имеет блочно-диагональную структуру, решением которой на ЦВМ осуществляется с применением метода итерации следующим образом.

Задаются на данном ν -ом шаге фиксированные значения узловых давлений $P_i^{(\nu)}$ и $P_k^{(\nu)}$ в нелинейных матрицах $[g_{ik}^{(\nu)}]$, $\omega = 1, 2, \dots, l, \dots, h$ и правых частях $b_i^{(\nu)}$ уравнений (5). Они превращаются соответственно в матрицы и вектора с постоянными коэффициентами, а уравнения (5) — в линейные алгебраические уравнения с блочно-диагональной матрицей коэффициентов. В каждом шаге итерации блоки представляют собой независимые системы линейных алгебраических уравнений, которые одновременно решаются на ЦВМ известными прямыми или итерационными методами. При этом каждый блок $[g_{ik}^{(\nu)}]$ симметричен, их диагональные коэффициенты больше или равны сумме модулей коэффициентов соответствующей строки; все недиагональные коэффициенты отрицательны, следовательно, матрицы $[g_{ik}^{(\nu)}]$ и блочно-диагональная матрица системы (5) являются положительно определенными [1, 2].

Для нахождения вектора неизвестных узловых давлений P_k на $v+1$ -ом шаге итерации решается одновременно h независимых на каждом шаге систем линейных уравнений (5) с постоянными правыми частями. Полученные давления $P_k^{(v+1)}$ подставляются в $[d_{jk}^{(v+1)}(p_j^{(v+1)}; p_k^{(v+1)})]$, $\omega = 1, 2, 1, \dots, h$ и в правую часть (5) и вновь решается система (5) и т. д. Итерационный процесс заканчивается и решение будет найдено, когда имеет место условие

$$|P_k^{(v+1)} - P_k^{(v)}| \leq \epsilon, \quad k = 1, 2, \dots, m, \quad (6)$$

где ϵ — заданная точность расчета.

После нахождения узловых давлений P_k потоки на участках и узловые расходы отдельных h подсистем определяются аналогично [1, 2].

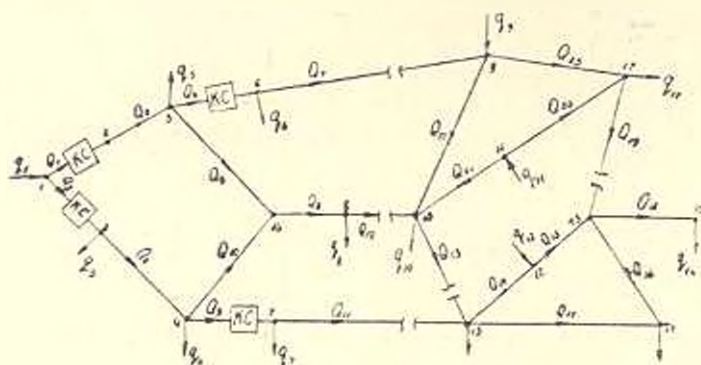


Рис. 2.

Пример. Рассмотрим расчетную схему, которая приведена на рис. 2. Она состоит из $S = 18$ узлов (из них P_r , $r = 16, 17, 18$ — балансирующие узлы, где задаются узловые давления, поэтому $m = 15$) и $n = 23$ участков. На четырех участках имеются компрессорные станции (КС). Рассматриваемая на рис. 2 схема ГТС на участках между узлами 6—9, 8—10, 7—18, 10—18, 13—17 разрезается, при этом получают три изолированные подсистемы малой размерности. Уравнения узловых давлений для рассматриваемой схемы ГТС имеют блочно-диагональную форму:

$$\begin{vmatrix} g_{jk}^{(1)} & 0 & 0 \\ 0 & g_{jk}^{(2)} & 0 \\ 0 & 0 & g_{jk}^{(3)} \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} p_k^{(1)} \\ p_k^{(2)} \\ p_k^{(3)} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} b_j^{(1)} \\ b_j^{(2)} \\ b_j^{(3)} \end{vmatrix}, \quad (7)$$

где

$$b_j^{(1)} = \begin{vmatrix} q_1 - \frac{z_1}{C_1} - \frac{z_3}{C_5} \\ \frac{z_1}{C_1} \\ -q_2 + \frac{p_{12}}{C_1} - \frac{z_6}{C_8} \\ -q_4 + \frac{p_{18}}{C_{10}} - \frac{z_9}{C_9} \\ -q_5 + \frac{z_5}{C_3} \\ -q_8 + \frac{z_6}{C_4} - Q_7 \\ -q_7 + \frac{z_9}{C_3} - Q_{11} \\ -q_9 + \frac{p_{18}}{C_4} - Q_2 \end{vmatrix};$$

$$b_j^{(2)} = \begin{vmatrix} q_9 + \frac{p_{17}}{C_{23}} + Q_7 \\ -q_{10} + Q_{12} + Q_{13} \\ q_{11} + \frac{p_{17}}{C_{20}} \end{vmatrix};$$

$$b_j^{(3)} = \begin{vmatrix} q_{12} + \frac{p_{18}}{C_{14}} \\ Q_{19} \\ q_{14} + \frac{p_{28}}{C_{17}} \\ -q_{15} \end{vmatrix};$$

$$p_k^{(1)} = \begin{vmatrix} p_1 \\ p_1 \\ p_2 \\ p_4 \\ p_5 \\ p_6 \\ p_7 \\ p_8 \end{vmatrix};$$

$$p_k^{(2)} = \begin{vmatrix} p_9 \\ p_{10} \\ p_{11} \end{vmatrix};$$

$$p_k^{(3)} = \begin{vmatrix} p_{12} \\ p_{13} \\ p_{14} \\ p_{15} \end{vmatrix};$$

$$g_{jk}^{(1)} = \begin{vmatrix} q_{10} - \frac{1}{C_1} & 0 & 0 & -\frac{1}{C_5} & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{1}{C_1} & g_{20} & -\frac{1}{C_2} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{1}{C_2} & g_{30} & 0 & 0 & -\frac{1}{C_4} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & g_{44} & -\frac{1}{C_4} & 0 & -\frac{1}{C_4} \\ -\frac{1}{C_5} & 0 & 0 & -\frac{1}{C_4} & g_{55} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{1}{C_8} & 0 & 0 & g_{62} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\frac{1}{C_8} & 0 & 0 & g_{77} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & g_{88} \end{vmatrix};$$

$$g_{jk}^{(2)} = \begin{vmatrix} g_{22} & -\frac{1}{C_{22}} & 0 \\ -\frac{1}{C_{22}} & g_{1010} & -\frac{1}{C_{21}} \\ 0 & -\frac{1}{C_{21}} & g_{1111} \end{vmatrix}; \quad (10)$$

$$g_{jk}^{(3)} = \begin{vmatrix} g_{1212} & -\frac{1}{C_{15}} & 0 & 0 \\ -\frac{1}{C_{15}} & g_{1313} & -\frac{1}{C_{16}} & -\frac{1}{C_{18}} \\ 0 & -\frac{1}{C_{16}} & g_{1414} & 0 \\ 0 & -\frac{1}{C_{18}} & 0 & g_{1515} \end{vmatrix};$$

$$\begin{aligned} g_{11} &= \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_5}; & g_{22} &= \frac{1}{C_{22}} + \frac{1}{C_{23}}; \\ g_{22} &= \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}; & g_{1010} &= \frac{1}{C_{21}} + \frac{1}{C_{22}}; \\ g_{23} &= \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_3} + \frac{1}{C_6}; & g_{1111} &= \frac{1}{C_{20}} + \frac{1}{C_{21}}; \\ g_{44} &= \frac{1}{C_4} + \frac{1}{C_6} + \frac{1}{C_{10}}; & g_{1212} &= \frac{1}{C_{14}} + \frac{1}{C_{15}}; \\ g_{55} &= \frac{1}{C_4} + \frac{1}{C_5}; & g_{1313} &= \frac{1}{C_{15}} + \frac{1}{C_{16}} + \frac{1}{C_{18}}; \\ g_{66} &= \frac{1}{C_6}; & g_{1414} &= \frac{1}{C_{16}} + \frac{1}{C_{17}}; \\ g_{77} &= \frac{1}{C_7}; & g_{1515} &= \frac{1}{C_{18}}; \\ g_{88} &= \frac{1}{C_8}; \end{aligned} \quad (11)$$

Уравнения связи между подсистемами газопроводов 6—9, 8—10, 7—18, 10—18, 13—17 имеют вид:

$$\begin{aligned} P_6 - P_9 &= C_7 Q_7; & P_6 - P_{16} &= C_{12} Q_{12}; \\ P_7 - P_{16} &= C_{11} Q_{11}; & P_{10} - P_{18} &= C_{13} Q_{13}; \\ & & P_{17} - P_{13} &= C_{10} Q_{10}. \end{aligned} \quad (12)$$

При решении на ЭВМ системы (7) целесообразно из (12) значения потоков подставлять в правую часть (7), т. е. в (8), затем построить итерационную процедуру расчета. В (7) величины P_i , q_i и k_i заданы, а $F_i^{(v)}$ задаются индуктивно по v , при этом элементы матрицы $[g_{ik}^{(v)}]$ — постоянные величины на v -ом шаге итерации, которые определяются по формуле, приведенной в [1, 2]. Тогда (7) представляет три независимые системы линейных алгебраических уравнений. Для нахождения P_i на $(v+1)$ -ом шаге необходимо решить систему (7), для чего можно использовать как прямые, так и итерационные методы.

На следующем шаге найденное значение $P_i^{(v+1)}$ входит в (7) как $P_i^{(v)}$. Процесс прекращается, как только выполняется условие (6).

Ер. компл. огд.
ВНИИЭЛГАЗПРОМ

15. VI 1983

II. ՀԱՅՈՐՅԱՆ

ԴԻՖԿՈՏԻԱՅԻ ՄԵԽՈԳԻ ԿԻՐԱՌՈՒՄԸ ԳԱԶԱՏՐԱՆՍՊՈՐՏԱՅԻՆ ՄԵՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐԻ ՀՈՈՔԱՐԱՇԽՄԱՆ ՀԱՇՎԱՐԿՈՒՄ

Ա Վ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Դիտարկվում է ցանցի մասնատման մեթոդի կիրառումը գազատրանսպորտային մեծ համակարգերում հոսքաբաշխման խնդրի հաշվարկում: Մեթոդը կիրառելիս հաշվի է առնվում խնդրի լուծման տոանձնահատկությունը հանգուցային ճնշումների հավասարումների միջոցով:

Ներկայացվող մեթոդը բերում է մեծ չափողականությամբ հիդրավիկական հաշվարկը արտահայտող հավասարումների լուծման համարժեք փոխարինմանը մի շարք փոքր չափողականության ենթախնդիրների լուծման, որոնք ավելի հեշտ են իրականացվում թվային հաշվիչ մեքենայի (ԹՀՄ) վրա:

Տվյալ մեթոդը հնարավորություն է տալիս մեծ չափողականության խնդիրը սեղավորել տրամադրության տակ գտնվող ԹՀՄ-ի վրա և բարձրացնում է հաշվարկի արդյունավետությունը:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Акопян С. Г. Расчет потоковраспределения стационарного режима газотранспортной системы.— В сб.: Проблемы совершенствования и развития прогрессивных технико-экономических норм и нормативов в газовой промышленности.— М.: ВНИИЭГазпром, 1982. с. 80—91.
2. Акопян С. Г. Декомпозиционный метод расчета потоковраспределения стационарного режима больших систем транспорта газа.— Изв. АН АрмССР (сер. ТН), 1982, т. XXXV, № 1, с. 16—21.
3. Крон Г. Исследования сложных систем на частях — дискретика.— М.: Мир, 1972 — 512 с.
4. Леонас В. А. Использование продеревьев и разделения сети в задачах потоковраспределения на сети транспортного типа.— В кн.: Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики.— Иркутск: 1978, вып. 13, с. 106—113.