

Р. А. ГАЗАРЯН, Н. С. ХУՐՈՒՃՈՎ

ОПТИМИЗАЦИЯ РАЗВИТИЯ ГАЗОТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРИНЦИПА ДЕКОМПОЗИЦИИ

При оптимизации развития газотранспортных систем (ГТС) возникают большие трудности, которые объясняются наличием большого числа объектов, многоступенчатой структурой организации и функционирования, сложностью, нелинейностью и многопараметричностью процесса развития ГТС как в физическом, так и математическом смысле. Естественным путем преодоления вычислительных трудностей является декомпозиция исходной задачи на отдельные подзадачи меньшей размерности с последующим их согласованием [1]. Однако, в настоящее время, в работах, посвященных оптимизации развития крупных ГТС, реализуется ограниченное представление принципа декомпозиции [2], что ограничивает возможности соответствующих программ.

Целью настоящей статьи является разработка декомпозиционного подхода к решению задачи оптимизации развития ГТС как формально и концептуально механизма преобразования исходной математической модели.

Основные соотношения и формулы. Всякую задачу управления развитием ГТС можно свести к задаче математического программирования:

$$\begin{aligned} F(\bar{x}) &\rightarrow \min; \\ W'(\bar{x}) &= 0, \end{aligned} \tag{1}$$

где $F(\bar{x})$ — скалярная функция цели, аддитивная относительно независимых переменных; $\bar{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ — n -мерный вектор независимых переменных $\bar{x} \in E^n$; $W'(\bar{x}) = \{W_i(\bar{x}); i = \overline{1, m}\}$ — m -мерная нелинейная вектор-функция n -мерного вектора $\bar{x}$.

Действительно, если в составе задачи содержатся ограничения типа неравенств вида:

$$a) \quad G_i(\bar{x}) \leq 0, \quad i = \overline{1, k},$$

то им соответствуют ограничения типа равенств

$$G_i(\bar{x}) - y_i^2 = 0, \quad i = \overline{1, k},$$

где $\bar{y} = \{y_j | j = \overline{1, k}\}$ — вектор дополнительных независимых переменных;

$$6) \quad a_j \leq x_j \leq b_j, \quad j = \overline{1, r},$$

то им соответствуют ограничения типа равенств:

$$(b_j - x_j) \cdot (x_j - a_j) - z_j^2 = 0, \quad j = \overline{1, r},$$

где $\bar{z} = \{z_j | j = \overline{1, r}\}$ — вектор дополнительных независимых переменных.

Определение. Разбиение пространства переменных E^n на подпространства $E^{n_1}, E^{n_2}, \dots, E^{n_N}$ назовем *прямым*, если для всяких $n_i \neq n_j$ ($i, j = \overline{1, N}$) соблюдаются соотношения:

$$E^{n_i} \cap E^{n_j} = \emptyset; \quad (2)$$

$$E^n = E^{n_1} \cup E^{n_2} \cup \dots \cup E^{n_N}.$$

В соответствии с разбиением E^n имеем разбиение множества ограничений:

$$\{W(\bar{x}) = 0\} = \bigcup_{j=1}^N \{\bar{W}_j(\bar{x}_j) = \bar{0}\} \cup \{\bar{W}^0(\bar{x}^0) = \bar{0}\},$$

где

$$\bar{W}_j = \{W(\bar{x}) | W \in \bar{W} \text{ и } \bar{x} \in E^{n_j}\}, \quad j = \overline{1, N}; \quad (3)$$

$$\bar{W}^0 = \bar{W} \setminus \bigcup_{j=1}^N \bar{W}_j, \quad \bar{x}^0 \in E^n.$$

Тогда для всякого прямого разбиения (2), используя (3) и аддитивность целевой функции относительно любого разбиения множества переменных, запишем:

$$\min_{\bar{x}} \sum_{j=1}^N F_j(\bar{x}_j) \quad (4)$$

при ограничениях

$$\bar{W}_j(\bar{x}_j) = \bar{0}, \quad j = \overline{1, N}; \quad (5)$$

$$\bar{W}^0(\bar{x}^0) = \bar{0}, \quad (6)$$

где

$$\bar{x} = (\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_N) \in E^n; \quad \bar{x}_j \in E^{n_j}, \quad j = \overline{1, N}.$$

Для (4) — (6) составим обобщенную задачу Лагранжа:

$$\min_{\bar{x}} \max_{\bar{p}} \left\{ \sum_{j=1}^N F_j(\bar{x}_j) + \sum_{j=1}^N \bar{p}_j^T \cdot \bar{W}_j(\bar{x}_j) \right\} \quad (7)$$

при ограничениях (6), где $\bar{p} = (\bar{p}_1, \bar{p}_2, \dots, \bar{p}_N)$ — вектор множителей Лагранжа, соответствующих ограничениям (5);

$\bar{p}_j^T$ — вектор, транспонированный к $\bar{p}_j$, $j = \overline{1, N}$.

Для фиксированного $\bar{x}^0$ рассмотрим задачу:

$$\min_{\bar{x}_j} \max_{\bar{p}_j} \left\{ \sum_{j=1}^N \{F_j(\bar{x}_j, \bar{x}^0) + \bar{p}_j^T \cdot \bar{W}_j(\bar{x}_j, \bar{x}^0)\} \right\}, \quad (8)$$

где

$$\bar{x}_j = \bar{x}_j \setminus \bar{x}^0; \quad \bar{W}_j(\bar{x}_j, \bar{x}^0) = \bar{W}_j'(\bar{x}_j); \quad F_j(\bar{x}_j, \bar{x}^0) = F_j(\bar{x}_j)$$

для всех $j = \overline{1, N}$.

С учетом непересечения подпространств E^{n_j} (2), преобразуем (8) введением под знак суммы операции взятия минимума и максимума

$$\sum_{j=1}^N [\max_{\bar{p}_j} \min_{\bar{x}_j} \{F_j(\bar{x}_j, \bar{x}^0) + \bar{p}_j^T \cdot \bar{W}_j'(\bar{x}_j, \bar{x}^0)\}]. \quad (9)$$

Рассмотрим следующие задачи:

$$\begin{aligned} \min_{\bar{x}_j} F_j(\bar{x}_j, \bar{x}^0) \\ \bar{W}_j(\bar{x}_j, \bar{x}^0) = 0. \\ j = \overline{1, N} \end{aligned} \quad (10)$$

Каждой из этих N задач соответствует задача о нахождении седловой точки функции Лагранжа:

$$\begin{aligned} \max_{\bar{q}_j} \min_{\bar{x}_j} L_j(\bar{x}_j, \bar{q}_j) = \max_{\bar{q}_j} \min_{\bar{x}_j} \{F_j(\bar{x}_j, \bar{x}^0) + \bar{q}_j^T \cdot \bar{W}_j'(\bar{x}_j, \bar{x}^0)\}, \\ j = \overline{1, N}. \end{aligned} \quad (11)$$

Просуммируем обе части равенства (11) по всем j :

$$\sum_{j=1}^N \max_{\bar{q}_j} \min_{\bar{x}_j} L_j(\bar{x}_j, \bar{q}_j) = \sum_{j=1}^N \max_{\bar{q}_j} \min_{\bar{x}_j} \{F_j(\bar{x}_j, \bar{x}^0) + \bar{q}_j^T \cdot \bar{W}_j'(\bar{x}_j, \bar{x}^0)\}. \quad (12)$$

Правая часть (12) и (9) равны, следовательно, при всяком фиксированном $\bar{x}^0$ получаем N векторов $\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_N$, являющихся решениями подзадач (10), т. е.:

$$\bar{x}_j = \bar{x}_j(\bar{x}^0), \quad j = \overline{1, N}. \quad (13)$$

Подставим (13) в (7). Тогда задача (7) запишется

$$\min_{x^0} \sum_{j=1}^N f_j(x^0) \quad (14)$$

при ограничении (6), где

$$f_j(x^0) = \max_{p_j} |P_j(x_j(x^0), x^0) + \bar{p}_j^T \cdot \bar{W}_j(x_j(x^0), x^0)|.$$

Результатом решения параметрических подзадач (10) являются зависимости (13), которые используются для решения координирующей подзадачи (14). Общий процесс решения может быть организован либо итеративно — при этом расчет x_j осуществляется каждый раз для одного значения x^0 (точечный алгоритм), либо расчетом зависимости (13) на всем диапазоне изменения x^0 (эквивалентирование). Нетрудно показать, что решение исходной задачи формально не зависит ни от вида разбиения (2), ни от алгоритма реализации вычислений.

С целью реализации предлагаемого подхода разработан проблемно-ориентированный комплекс программ расчета на ЭВМ, внедренный в практику проектных расчетов [3]. Комплекс содержит ряд проблемных подпрограмм на языке ФОРТРАН-IV, организованных в личную библиотеку и объектных модулях. Управление процессом расчета осуществляется системной программой на языке АССЕМБЛЕР.

Пример. Приводится ГТС, содержащая 60 ветвей, представляющих собой трубопроводные участки и 57 узлов — точки отселения трубопроводов, подключения потребителей и месторождений газа, расположения действующих компрессорных станций. Кроме того, заданы лишь дополнительно 32 точки, в которых рассматривалась возможность сооружения новых компрессорных станций. В качестве целевой функции задачи принят минимум приведенных затрат на развитие ГТС, с учетом эффективности использования газа и затрат на второе топливо. В число ограничений входят двухсторонние ограничения на объемы потребления газа и потоков по трубопроводам, на давления и температуру газа в узлах и т. д., а также балансовые уравнения по газу в узлах, по топливopotреблению у потребителей, условия стационарного режима газопередачи, технологические ограничения по режимам и т. д. Исходной информацией является также существующая структура и параметры ГТС, вся необходимая технико-экономическая нормативная информация.

По результатам расчетов требуется найти: оптимальную структуру и параметры ГТС, потоки газа по ветвям, распределение давлений и температур по узлам, технические решения по развитию объектов, включая выбор типа и состава оборудования, распределение выделенного ресурса газа между потребителями и т. д., а также перечень технико-экономических показателей по оптимальному варианту.

Процесс расчета включал 2 этапа. На первом были получены зависимости (13), представляющие собой зависимость изменения затрат от изменения потоков и давлений газа по группам взаимосвязанных узлов и ветвей. При этом, решение подзадач (10) осуществлялось методом динамического программирования [3]. На втором этапе решалась координирующая подзадача с целевой функцией (14) и системой ограничений (6), представляющих собой ограничения на потоки и давления газа. Реализация координирующей подзадачи осуществлялась двумя методами - модифицированным методом сопряженных градиентов и методом обобщенного градиента. При расчетах на ЭВМ ЕС-1020 при совпадении результатов расчета, затраты машинного времени, составили, соответственно, 11 и 8 мин. Полученные по результатам решения задачи (14) потоки и давления газа использовались для расчета всей искомой технико-экономической информации, на что было затрачено 32 мин.

Ереванский компл. отд.

ВНИИГазпрома

Поступило 2.11.1980

Ե. Ա. ՂԱԶԱՐՅԱՆ, Ե. Ս. ԿՈՌԵՆՈՒԹՅԱՆ

ԳԱԶԱՏՐԱՆՍՊՈՐՏԱՅԻՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ԶԱՐԳԱՑՄԱՆ ՈՊՏԻՄԻԶԱՑԻԱՅԻ ԴԻՆԱՄԻԿԱԿԱՆ ՄԱԶԵՐԿՆԵՐԻ ԿՐԻՏԵՐԻԱԼՆԵՐ

Ա Ն Ք Ր Ո Ւ Մ

Դիտարկվում են բարձր զադատրանսպորտային համակարգի պարզացման օպտիմիզացիոն ալգորիթի մշակման հարցեր: Սպասարկվում է ղեկավարողի հետ մեկտեղ: Միջոցառում է պրոցեսի մոդելավորումը ապելի փոքր չափողականության ենթաինդիքների ազդեցության լուծման միջոցով: Քննվում են տվյալներ E2U-ի վրա հոսվածան պրոցեսային-կոդմոնոլիզած ամբողջական ծրագիրը կազմելու վերաբերյալ, ինչպես նաև նրա կիրառումը ռոպադրող օրինակ:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Крумм Л. А. Методы приращенного градиента при управлении электроэнергетическими системами. Новосибирск, «Наука», 1977, 368 с.
2. Бобровский С. А. и др. Трубопроводный транспорт газа. М., «Наука», 1976, 495 с.
3. Хиршудов Н. Г. Расчет оптимальных параметров магистрального газопровода. ОФАП Мингазпрома, № 274, М. ГВН Мингазпрома, 1980, 30 с.