

НАУЧНЫЕ ЗАМЕТКИ

Լ. Ա. ՄԱՆՅԱՆ

ОПТИМИЗАЦИЯ РАЗВИТИЯ ГАЗОТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ
НА ОСНОВЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

Газотранспортные системы в настоящее время относятся к наиболее активно развивающимся подсистемам топливно-энергетического комплекса как в масштабе страны, так и районов. Постоянный рост потребления газа, изменчивость сырьевой базы, вследствие истощения действующих и открытия новых месторождений подвергают непрерывному пересмотру потоков газа от источников до потребителей, изменению конфигурации газотранспортных систем и ее параметров. В связи с огромными затратами, связанными с развитием газотранспортных систем, оптимальное решение этих вопросов имеет народнохозяйственное значение. И как показано в исследованиях [1], из-за наличия прямых и обратных связей между предыдущими и последующими решениями, корректное решение стратегии развития газотранспортных систем можно получить лишь на основе разработки и реализации динамических моделей, охватывающих весь период планирования. Несмотря на актуальность вопроса разработки динамических моделей развития газотранспортных систем, ей посвящено относительно небольшое число работ по сравнению со статическими постановками и в них, как правило, решается ограниченный круг вопросов с различной степенью допущений (линеаризация зависимостей, оптимизация лишь потоков газа без учета распределения давлений газа в сети и др.). В связи с этим ниже предлагается динамическая модель оптимизации развития газотранспортных систем, реализация которой позволяет одновременно определить оптимальную стратегию развития сети — технические решения по газопроводным участкам и компрессорным станциям, потоки газа с учетом распределения давлений — по дискретным временным уровням выбранного периода планирования. Эти решения выбираются из условия обеспечения минимума суммарных приведенных затрат на систему за весь период планирования с учетом периода «последствий» [2].

Рассмотрим N временных уровней t , $t = 0, N$ периода планирования, где $t = 0$ соответствует моменту принятия решений, а $t = N$ — концу периода планирования. Интервал между соседними временными уровнями может равняться одному или нескольким годам. Состояние

газотранспортной сети на t -м временном уровне опишем с помощью графа $G_t(X_t, T_t)$, $t = \overline{0, N}$, где X_t — множества узлов системы, а T_t — множества газопроводных участков и компрессорных станций. Предполагается, что выполняются следующие условия

$$X_t \subseteq X_{t+1}, \quad T_t \subseteq T_{t+1}, \quad t = \overline{0, N-1},$$

что соответствует последовательному развитию сети.

Для рассматриваемого случая, когда совместно определяются технические решения по газопроводным участкам, компрессорным станциям и потокораспределение в сети с учетом распределения давлений газа, затраты Z_{ij} на каждый элемент (i, j) системы являются функцией от выбираемых технических решений $u_{ij}^1, \dots, u_{ij}^N$, начальных P_i^k, \dots, P_j^k , конечных давлений P_i^k, \dots, P_j^k и потоков газа $Q_{ij}^k, \dots, Q_{ij}^k$ по элементу, соответствующим рассматриваемым временным уровням, где k — номер временного уровня ввода элемента в эксплуатацию. Для действующих элементов: $k = 1$.

Поэтому целевую функцию задачи оптимизации можно представить следующим образом:

$$\sum_{(i, j) \in T_N} \min_{\bar{u}_{ij}} Z_{ij}(\bar{u}_{ij}, \bar{P}_i, \bar{P}_j, \bar{Q}_{ij}) \rightarrow \min, \quad (1)$$

где $\bar{u}_{ij} = (u_{ij}^1, \dots, u_{ij}^N)$; $\bar{P}_i = (P_i^1, \dots, P_i^N)$; $\bar{P}_j = (P_j^1, \dots, P_j^N)$; $\bar{Q}_{ij} = (Q_{ij}^1, \dots, Q_{ij}^N)$.

Технологически допустимая область поиска минимума (1) задается следующими условиями.

1. Условиями неразрывности потоков газа по узлам сети

$$\sum_{i \in X_j^k} \operatorname{sgn}(P_i^k - P_j^k) \cdot Q_{ij}^k + \sum_{i \in Y_j^k} \operatorname{sgn}(P_j^k - P_i^k) \cdot Q_{ij}^k - Q_j^k + Q_{ju}^k = 0, \quad (2)$$

$$j \in X_N, \quad k = \overline{1, N}$$

где X_j^k и Y_j^k — соответственно, множества газопроводных участков и компрессорных станций, смежных к j -му узлу на k -м временном уровне; Q_j^k — потребляемый в j -м узле газ на k -м временном уровне (для нейтральных узлов они равны нулю); Q_{ju}^k — отбираемый газ на k -м временном уровне из источника, расположенном в j -м узле;

$$\operatorname{sgn}(a) = \begin{cases} 0, & \text{если } a = 0, \\ 1, & \text{если } a > 0, \\ -1, & \text{если } a < 0. \end{cases}$$

2. Функциональными условиями по газопроводным участкам

$$|P_i^{k+1} - P_j^{k+1}| \leq c \cdot Q_{ij}^{k+1} (d_{ij}^{k+1} - 1)^{5,2}, \quad k = \overline{1, N} \quad (3)$$

и по компрессорным станциям

$$a_{ij}^{k-1} \cdot \min(P_i^{k2}, P_j^{k2}) - \max(P_i^{k2}, P_j^{k2}) \leq b_{ij}^{k-1} \cdot Q_{ij}^k, \quad k = \overline{1, N}, \quad (4)$$

где c — коэффициент; d_{ij}^{k-1} — эквивалентный диаметр участка (i, j) на $k-1$ -м временном уровне; a_{ij}^{k-1} , b_{ij}^{k-1} — коэффициенты А. Г. Немудрова [3] для компрессорной станции (i, j) действующей или рассчитанной на $k-1$ -м временном уровне.

Кроме условий (2) — (4) на переменные P_i^k , P_j^k , Q_{ij}^k , Q_{i0}^k , $k = \overline{1, N}$ устанавливаются прямые ограничения типа „не больше чем“ и (или) „не меньше чем“ (Q_{ij}^k — наперед заданные постоянные).

Реализация рассмотренной модели сводится к решению задачи нелинейного математического программирования, размерность которой пропорциональна числу временных уровней. Поэтому при больших N ее реализация связана с большими вычислительными трудностями, которые усугубляются дискретностью выбираемого оборудования (труб и компрессорных агрегатов).

Рассмотрим следующие основные два способа ее реализации. Первый способ, для которой решены основные принципиальные вопросы, основывается на предварительном расчете и использовании аналитических зависимостей (технико-экономических характеристик) затрат $Z_{ij}(P_i, P_j, Q_{ij})$, с помощью которых формулируется целевая функция задачи оптимизации. При этом, из целевой функции исключаются технические решения и задача переводится в область непрерывных переменных P_i, P_j, Q_{ij} , что позволяет использовать обычные методы математического программирования. Технические решения по газопроводным участкам и компрессорным станциям определяются после реализации задачи математического программирования, по оптимальным значениям P_i^k, P_j^k, Q_{ij}^k с помощью зависимостей, на основании которых рассчитываются технико-экономические характеристики. Наиболее удобными функциями для аналитического представления технико-экономических характеристик являются обычные нелинейные полиномы [4] (при N не более двух) или составленные функции [5] (при $N > 2$), коэффициенты которых определяются методом наименьших квадратов.

Второй способ (менее трудоемкий) заключается в прямой реализации модели путем непосредственного расчета затрат Z_{ij} , входящих в целевую функцию (1). Однако, время решения задачи оптимизации при этом многократно возрастает. В настоящее время разрабатывается алгоритмическое и программное обеспечение реализации рассмотренной модели по этому способу.

Основной его особенностью является реализация модели с помощью единой программы, которая включает основной блок и подпрограммы. В основном блоке программы реализуется этап оптимизации (задача математического программирования) относительно переменных P_i, P_j, Q_{ij} . В качестве метода его реализации нами в настоящее время используется метод покоординатного спуска (метод Гаусса—Зейделя) с постепенно уточняющимися шагами.

Накопленный вычислительный опыт показывает, что применительно к районным системам средних размеров описанной моделью можно охватить примерно пяти временных уровней периода планирования с достаточно подробным выделением газопроводных участков и компрессорных станций.

Применительно к большим системам газоснабжения (например, Единой системы газоснабжения) необходимо применять агрегированные системы — рассмотрение участка от компрессорной станции до компрессорной станции с перенесением потребителей и источников газа на начало или конец участка. При этом ориентировочные расчеты показывают, что при условии применения средств вычислительной техники средней мощности можно охватить два-три временных уровня периода планирования.

Ереванский комплексный
отдел ВНИИГазпром

Поступило 26.XII.1979

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Оптимизация и управление в больших системах энергетики. Т. 1, Иркутск. АН СССР, СЭИ. 1970.
2. Мелентьев Л. А. Системные исследования в энергетике. М., «Наука», 1979, с. 416.
3. Александров А. В., Яковлев Е. И. Проектирование и эксплуатация систем дальнего транспорта газа. М., «Недра», с. 432.
4. Унянц Л. А. Оптимизация развития газотранспортных систем во времени. Реф. сб. «Экономика газовой промышленности», М., ВНИИГазпром, 1974, № 10.
5. Унянц Л. А. Об одном алгоритме формализации задачи выбора оптимальных газо-транспортных систем с учетом динамики развития. М., ВНИИГазпром, 1978, деп. № 31.