

Լ. Ա. ՄԱՆՅԱՆ

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАЗВИТИЯ ГАЗОТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

В настоящее время Единая система газоснабжения страны (ЕСГ) и большинство ее районных (территориальных) подсистем представляют собой сложные технико-экономические комплексы, научно-обоснованное управление, развитие которых невозможно без применения методов математического моделирования и оптимизации, реализуемых средствами современной вычислительной техники.

Необходимость учета внешних связей, большое количество влияющих факторов и переменных, нелинейность связей между ними, дискретность типоразмеров выбираемого оборудования, вероятностный и неопределенный характер исходной информации, многокритериальность и наличие ограничений делают актуальными постоянный поиск и разработку методик планирования и проектирования газоснабжающих систем.

Основной задачей проектирования оптимальной газотранспортной системы (на этапе технико-экономического обоснования) в настоящее время является совместное решение следующих вопросов: выбор конфигурации системы распределения потоков газа от источников до потребителей; выбор параметров газопроводных участков и компрессорных станций. Все эти вопросы должны быть решены с учетом характера исходной информации и неравномерности газопотребления, а также ограничивающих условий (по металлозатратам, компрессорным агрегатам, надежности газоснабжения и др.). При этом в качестве критерия оптимальности рассматриваются суммарные приведенные затраты на систему.

В настоящее время имеется большое количество разработок, посвященных вопросам оптимизации развития газотранспортных систем. Однако выполненные разработки посвящены решению отдельных вопросов (раздельному выбору потокораспределения в сети, технической оснащенности системы и др.).

Ниже рассматривается математическая модель оптимизации развития газотранспортных систем, реализация которой позволяет одновременно найти: конфигурацию системы, потокораспределение в сети, параметры газопроводных участков и компрессорных станций. Она представляется следующей задачей нелинейного математического программирования с частично-булевыми переменными: найти минимум

$$\sum_{(i, j) \in T_1} X_{ij} \cdot \min_{u_{ij}} Z_{ij}(u_{ij}, P_i, P_j, Q_{ij}) + \\ + \sum_{(i, j) \in T_2} X_{ij} \cdot \min_{u_{ij}} Z_{ij}(u_{ij}, L_{ij}, P_i, P_j, Q_{ij}) - \min_{P, Q, L, X} \quad (1)$$

при следующих условиях:

$$\sum \operatorname{sgn}(P_i - P_j) \cdot Q_{ij} - Q_{j0} + Q_{i0} = 0, \quad j \in X; \quad (2)$$

$$X_{ij} \cdot (\max(P_j^2, P_i^2) - \min(P_j^2, P_i^2)) \leq c \cdot L_{ij} \cdot Q_{ij}^2, \quad (i, j) \in T_{12}; \quad (3)$$

$$X_{il} \cdot (a_{ij} \cdot \min(P_i^2, P_l^2) - \max(P_i^2, P_l^2)) \leq b_{ij} \cdot Q_{ij}^2, \quad (i, l) \in T_{lc}; \quad (4)$$

где i и j — обозначения узлов; (i, j) — обозначение элемента сети (газопроводного участка или компрессорной станции); T_1 — общее множество компрессорных станций и газопроводных участков с фиксированными концами; T_2 — множество газопроводных участков с искомыми концами; Z_{ij} — приведенные затраты на элемент (i, j) ; u_{ij} — техническое решение по элементу (i, j) ; P_i, P_j — входное и выходное давления газа элемента (i, j) ; Q_{ij}, L_{ij} — поток газа через элемент (i, j) и его длина; X_{ij} — булева переменная, которая принимает значение нуль или единица, что определяется в процессе решения задачи оптимизации; $\bar{P}, \bar{Q}, \bar{L}, \bar{X}$ — вектора соответствующих переменных; Q_{j0} — потребляемый в j -м узле поток газа; Q_{i0} — отбираемый из источника газа в j -м пункте; c, a_{ij}, b_{ij} — постоянные коэффициенты;

$$\operatorname{sgn}(P_i - P_j) = \begin{cases} 0, & \text{когда } P_i = P_j \\ 1, & \text{когда } P_i > P_j \\ -1, & \text{когда } P_i < P_j \end{cases}$$

Выражение (1) отражает суммарные приведенные затраты на систему; равенство (2) — условие неразрывности потока газа для узла j (X — множество всех узлов); неравенства (3) и (4) задают допустимые области изменения переменных, соответственно, по газопроводным участкам и компрессорным станциям. Кроме условий (2) — (3) на переменные P_i, P_j, Q_{ij}, Q_{i0} , а также на координаты искомых узлов ставятся условия типа «не более чем» и (или) «не менее чем».

С целью упрощения реализации модели целесообразно использовать технико-экономические характеристики газопроводных участков и компрессорных станций, методика построения которых приведена в [1]. Технико-экономические характеристики представляют собой оптимизированные по техническим решениям зависимости, представляемые полиномиальными или другими аппроксимирующими функциями.

$$\hat{Z}_{ij}(P_i, P_j, Q_{ij}) = \min_{u_{ij}} Z_{ij}(u_{ij}, P_i, P_j, Q_{ij}); \quad (5)$$

$$\hat{Z}_{ij}(L_{ij}, P_i, P_j, Q_{ij}) = \min_{u_{ij}} Z_{ij}(u_{ij}, L_{ij}, P_i, P_j, Q_{ij}). \quad (6)$$

ских характеристик газопроводных участков и компрессорных станций. Решение математической модели осуществлено методом локоординатного спуска. В результате оптимизации выявлено, что действующие газопроводные участки (7, 1), (7, 6) необходимо усилить лупингами, а участок (11, 8) — параллельной ниткой. По новым участкам (3, 5) и (6, 5) необходимо осуществить одноточечное решение, а участок (1, 4) не нужно строить. Получены также оптимальные координаты расположения узла (3) и новой компрессорной станции (8, 9), в которой должны быть установлены четыре агрегата, работающие в двух параллельных линиях двухступенчатого сжатия, в то время как из установленных четырех агрегатов на действующей станции (10, 1) должны работать только два агрегата по схеме последовательного двухступенчатого сжатия. Подробное описание этой задачи, алгоритм решения и полученные результаты представлены в [3].

Ер. компл. отдел
ВНИИЭГАЗПРОМ

Поступило 10.IX.1979

ЛИТЕРАТУРА

1. Унянн Л. А. Способ оптимизации газотранспортных систем РСФСР. М. ВНИИЭгазпром, деп. № 11М
2. Загоринский Э. Е. Энергетический метод определения режима работы многоагрегатной компрессорной станции. Экспресс-информация «Транспорт, хранение и использование газа в народном хозяйстве», № 21, 1976, М., ВНИИЭгазпром.
3. Унянн Л. А., Арустамян Л. Г. Инструкция по оптимизации газотранспортных систем. М. ВНИИЭгазпром, 1979.