

УДК 662.691.4:330.115

Л. А. УНЯНЯН

МНОГОЦЕЛЕВАЯ ВАРИАНТНАЯ ЗАДАЧА ОПТИМИЗАЦИИ
РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ГАЗОТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

Рассматриваемая проблема оптимизации развития и реконструкции газоснабжающих систем с точки зрения многокритериальности. Предлагается подход многоцелевой оптимизации распределительных газотранспортных систем при вариантной формулировке задачи. Библиограф — 3 жана.

Բազմապատկերային տեղակերպ գիտարկվում է զարգացման և վերակառուցման գազատրանսպորտային համակարգերի զարգացման և վերակառուցման օպտիմալացման խնդիրը: Առաջարկվում է բազմապատկերային տեղակերպ խնդրի բազմակերպության օպտիմալացման մոտեցում խնդրի տարբերակային ձևակերպման դեպքում:

В настоящее время задачи развития и реконструкции газотранспортных систем (ГТС) решаются в однокритериальной постановке. В качестве такого критерия, как правило, рассматривается минимум суммарных приведенных затрат, однако количество критериев, характеризующих качество выбираемых решений, значительно больше. В число дополнительных критериев могут входить: суммарные металлоложения или общая длина труб одного или нескольких диаметров, мощности вводимых компрессорных станций или количество вновь устанавливаемых газоперекачивающих агрегатов, общая длина вводимых лупингов, количество (стоимость) устанавливаемых кранов, показатели надежности газоснабжения и охраны природы и др. Некоторые из этих показателей в свою очередь могут быть разложены на более частные критерии. Если большинство из перечисленных критериев должны быть минимизированы, то критерии по надежности (коэффициенты эффективности, готовности и др.) — максимизированы. Кроме того, некоторые из критериев, направленных в одну и ту же сторону, противоречивы: так, например, стремление минимизировать затраты на линейную часть приводит к увеличению затрат по компрессорным станциям и наоборот.

Для решения задач многокритериальной оптимизации развития и реконструкции ГТС с учетом их особенностей может быть привлечен широкий арсенал методов, разработанных в рамках теории принятия решений и системного анализа. Не рассматривая здесь особенности разных подходов, отметим лишь, что на практике оправдываются относительно простые рекомендации. Среди задач многокритериальной оптимизации выделяется особый класс, в котором ставится цель достижения возможно близких к задаваемым экспертами значениям величин критериев (задачи многоцелевой оптимизации).

Ниже рассматривается подход решения задачи многоцелевой оптимизации развития и реконструкции распределительных ГТС (РГТС) и

вариантной постановке. Она формулируется следующим образом. Для каждого нового (проектируемого) или действующего (реконструируемого) элемента (газопроводного участка) РГТС отобраны наборы вариантов возможных технических решений их строительства. Необходимо определить, то сочетание вариантов технических решений системы, при котором обеспечиваются технологические условия передачи заданных потоков газа по участкам, и совокупность критериев, по которым оцениваются выбираемые решения. Под РГТС имеется в виду система действующих и проектируемых газопроводных участков (ГУ), распределяющих газ из одной или нескольких точек магистрального газопровода (источники системы) к городам и населенным пунктам (потребители системы) территориального района. В частности, таковой является в настоящее время ГТС Армянской ССР.

Опишем структуру развиваемой или проектируемой РГТС на рассматриваемую перспективу графом $G(Y, I)$. Дугам графа I соответствуют развиваемые и новые ГУ. Мощность множества I обозначим N . Множеству вершин графа Y соответствуют узлы системы — точки стыковки IV и пункты расположения источников и потребителей системы. Предполагается, что потоки газа по участкам от источников до потребителей заданы заранее.

Пусть для развития i -го ГУ выбраны n_i вариантов решения, $I_i \subset I$. Если действующий участок может не развиваться, то вариант с его действующими техническими параметрами тоже включается в число рассматриваемых. С целью учета гидравлического режима передачи газа по системе для каждого рассматриваемого варианта ГУ оценим перепад квадратов давлений газа на участке, что для i -го ГУ при k -ом варианте оценивается по формуле [1]

$$\Delta P_{ik} = P_{i1}^2 - P_{ik}^2 = c L_i Q_i^2 D_{ek}^{-5}, \quad (1)$$

где P_{i1} , P_{ik} — соответственно начальное и конечное давление газа участка, $МПа$; c — обобщенный газодинамический коэффициент; L_i — длина участка, $км$; Q_i — поток газа по участку, $млн \cdot м^3 \cdot сут$; D_{ek} — эквивалентный диаметр участка, $мм$.

Пусть для оценки проектных решений выбраны M критериев. Будем предполагать, что эти показатели имеют аддитивный характер или сводятся к таковым. По каждому из критериев можно составить матрицу вида

$$A^r = \begin{bmatrix} a_{11}^r & a_{12}^r & \dots & a_{1n_i}^r \\ a_{21}^r & a_{22}^r & \dots & a_{2n_i}^r \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{M1}^r & a_{M2}^r & \dots & a_{Mn_i}^r \end{bmatrix}, \quad r = 1, M, \quad (2)$$

элемент a_{ij}^r которой равен составляющему k -го критерия по i -му ГУ при j -м варианте его развития. Отметим, что в общем случае

$n_1, n_2, \dots, n_N$, поэтому матрицы A' будут содержать прочерки на местах отсутствующих элементов. Если какой-либо ГУ не участвует в формировании соответствующего критерия по системе, то в соответствующей строке матрицы критерия будут стоять прочерки. Сформируем обобщенный критерий оценки выбираемых решений в соответствии с формулой [2]

$$F(X) = \min \left[\sum_{r=1}^m \varphi_r \frac{f_r^0 - f_r(\bar{X})}{f_r^0 - f_{r(\min)}} + \sum_{r=m+1}^M \varphi_r \frac{f_r(\bar{X}) - f_r^0}{f_{r(\max)} - f_r^0} \right], \quad (3)$$

где $\bar{X} = (X_{1k_1}, X_{2k_2}, \dots, X_{Nk_N})$ — вектор решения задачи, i -я координата которого X_{ik_i} представляет возможные варианты по i -му ГУ;

$X^* = (X_{1k_1}^*, X_{2k_2}^*, \dots, X_{Nk_N}^*)$ — оптимальный вектор решений задачи;

X — допустимое множество решений по системе, определяемое на декартовом произведении $n_1 \times n_2 \times \dots \times n_N$; $f_r^0, f_{r(\min)}$ — соответственно максимальное и минимальное значения r -го максимизируемого критерия системы на допустимом множестве решений; $f_{r(\max)}, f_r^0$ — то же, для r -го минимизируемого критерия; $\varphi_r, r = 1, M$ — весовые коэффициенты. Отметим, что первые m слагаемые (3) соответствуют максимизируемым критериям системы, а остальные — минимизируемым. Для нашей задачи $f_r^0, f_{r(\min)}$ ($f_{r(\max)}, f_r^0$) представляют собой суммы соответственно максимальных и минимальных элементов строк матрицы A' .

С учетом (2) и (3) сформируем обобщенную критериальную матрицу системы

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{N1} & a_{N2} & \dots & a_{Nn} \end{bmatrix}, \quad (4)$$

Расчет элементов матрицы A можно осуществить различными способами, один из которых заключается в следующем. Производится преобразование элементов a'_{ij} матриц (2) по формулам

$$\bar{a}'_{ij} = \varphi_r \frac{f_r^0 M - a'_{ij}}{f_r^0 - f_{r(\min)}}, \quad r = \overline{1, m} \quad (5)$$

$$\bar{a}'_{ij} = \varphi_r \frac{a'_{ij} - f_r^0 M}{f_{r(\max)} - f_r^0}, \quad r = \overline{m+1, M}.$$

Затем полученные преобразованные матрицы суммируются. В результате получается матрица A .

Для формирования задачи оптимизации введем переменные X_{ik} , каждая из которых принимает значение, равное 1, если по i -му ГУ принимается к реализации k -ый вариант, и равное 0, если k -ый вариант к реализации не принимается:

$$X_{ik} \in \{0; 1\}, \quad i \in I, \quad k = \overline{1, n_i}. \quad (6)$$

Будем считать допустимым принятие по каждому ГУ только одного варианта решений, т. е.

$$\sum_{k=1}^{n_i} X_{ik} = 1, \quad i \in I. \quad (7)$$

Пусть на графе системы имеются L различных путей передачи газа от источника системы до конечных потребителей. Через S_l , $l = \overline{1, L}$, обозначим l -ый путь передачи газа. Допустимое минимальное давление газа потребителя, расположенного в конце пути S_l , обозначим P_{S_l} . Тогда путем последовательных подстановок с использованием (1) выводится следующее соотношение:

$$\sum_{i \in S_l} \Delta P_{ik} X_{ik} \leq P_u^2 - P_{S_l}^2 = \Delta P_{uS_l}, \quad l = \overline{1, L}, \quad (8)$$

где P_u — давление газа источника системы. С учетом сделанных обозначений и пояснений задача выбора оптимальной РГТС сводится к целевой функции

$$\sum_{l=1}^L \sum_{k=1}^{n_l} a_{lk} X_{lk} \rightarrow \min \quad (9)$$

при условиях (6) — (8).

Задача (6) — (9) решается методом «ветвей и границ» [3]. Первоначально производится отсев тех вариантов технических решений по элементам системы, которые заведомо нарушают условия (7) и не могут входить в оптимальный план задачи. Далее вследствие отсева упрощенных матриц (4) и ΔP_{ik} по всем рассматриваемым путям передачи газа S_l , $l = \overline{1, L}$ последовательно производится сопоставление каждому участку варианты его технических решений. Для каждого такого сопоставления производится оценка нижних границ целевой функции (8) и ограничений (7). Те варианты сопоставления, при которых нижние границы ограничений нарушают условия (7), отбрасываются из дальнейшего рассмотрения. Из оставшихся вариантов по данному элементу для дальнейшего ветвления выбирается тот вариант, для которого нижняя оценка (8) минимальна. Такой процесс оценки границ и ветвлений продолжается до последнего N -го элемента системы, в результате чего определяется оптимальное решение задачи оптимизации.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Агапкии В. М. и др. Справочное руководство по расчетам трубопроводов.— М.: Недра, 1987.— 192 с.
2. Михалевиц В. С., Волкович В. Л. Вычислительные методы исследования и проектирования сложных систем.— М.: Наука, 1982.— 288 с.
3. Цвирук А. Д. Структура сложных систем.— М.: Советское радио, 1975.— 199 с.

ЕрПИ им. К. Маркса

2. 11. 1989