ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՀ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ ՏԵՂԵԿԱԳԻՐ
ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

Տեխնիկական գիտութ. սերիա XXXIII, № 1, 1980 Серия технических наук

ЭНЕРГЕТИКА

Л. А. УНАНЯН

ДИСКРЕТНО-НЕПРЕРЫВНАЯ МОДЕЛЬ ОПТИМИЗАЦИИ ГАЗОТРАНСПОРТНЫХ СЕТЕЙ

Опишем газотранспортную сеть в динамике развития графами $G_r(X^r, T^r)$, соответствующими дискретным временным уровням $r(r=\overline{1, N})$ периода планирования. В соответствии с принятой практикой планирования предполагается последовательное расширение сети:

$$G_1(X^1, T^1) \subseteq G_2(X^2, T^2) \subseteq \cdots \subseteq G_N(X^N, T^N).$$

Дугам графов ставятся в соответствие действующие или проектируемые газопроводные участки и компрессорные станции, а вершинам — источники, потребители и нейтральные узлы. Пусть для каждого элемента (i, j) системы заранее отобраны n_{ij} возможных вариантов усиления (по действующим элементам) или создания (по проектируемым элементам). Для простоты предположим, что набор технических решений по всем временным уровням $r(r=\overline{1, N})$ один и тот же. Обозначим средние затраты реализации k-го варианта технических решений по газопроводным участкам через — $\overline{C}^{\text{гу}}_{ijk}$, а по компрессорным станциям — $\overline{C}^{\text{кс}}_{ijk}$.

Известны функции распределения случайных среднесуточных спросов Q^r_{in} в газе потребителей — $F^r_{in}(Q^r_{in})$ и отборов газа $Q^r_{iи}$ из источников системы с давлениями $P^r_{iи} - F^r_{iи}(Q^r_{iи})$. Предположим некоррелированность между рассматриваемыми случайными факторами. Вышестоящей организацией заданы вероятности обеспечения спроса потребителей α^r_{in} и непревышения отборов газа из источников $\alpha^r_{iи}$.

Требуется определить оптимальную стратегию развития сети за планируемый период (оптимальные технические решения по дискретным временным уровням) и оптимальные режимы ее работы, при которой суммарные приведенные затраты на систему минимальны.

При этих условиях математическая модель задачи оптимизации выглядит следующим образом (для упрощения модели в целевую функцию не включены эксплуатационные затраты действующей части системы).

Найти минимум

$$S = \min_{\{X^r_{ijk}\},\{Y^r_{ijk}\}} \left\{ \sum_{(i,j)\in T^N_{ry}} \sum_{r=1}^{N} \sigma_r \sum_{k=1}^{n_{ij}} \bar{C}^{ry}_{ijk} \cdot X^r_{ijk} + \sum_{(i,j)\in T^N_{kc}} \sum_{r=1}^{N} \sigma_r \sum_{k=1}^{n_{ij}} \bar{C}^{kc}_{ijk} \cdot Y^r_{ijk} \right\} \tag{1}$$

при выполнении следующих условий:

$$P\left\{ \sum_{j\in X^r_{iry}} \operatorname{sgn}(P^r_j - P^r_i)\, Q^r_{ji} + \sum_{j\in X^r_{ikc}} \operatorname{sgn}(P^r_i - P^r_j)\, Q^r_{ji} \geqslant Q^{*r}_{in} \right\} \geqslant \tau^r_{in}, \text{ если } i \in I^r_n; \tag{2}$$

$$\sum_{j\in X^r_{iry}} \operatorname{sgn}(P^r_j - P^r_i) \cdot Q^r_{ji} + \sum_{j\in X^r_{ikc}} \operatorname{sgn}(P^r_i - P^r_j) \cdot Q^r_{ji} = 0, \text{ если } i \in I^r_n; \tag{3}$$

$$P\left\{ \sum_{j\in X^r_{iry}} \operatorname{sgn}(P^r_j - P^r_{iu}) \cdot Q^r_{ji} + \sum_{j\in X^r_{ikc}} \operatorname{sgn}(P^r_{iu} - P^r_j) \cdot Q^r_{ji} \leqslant Q^{*r}_{iu} \right\} \geqslant$$

$$\geqslant \tau^r_{iu}, \text{ если } i \in I^r_{iu}; \tag{4}$$

$$\sum_{k=1}^{n_{ij}} X^r_{ijk} = 1, \text{ если } (i, j) \in T'^r_{ry} \subset T^r_{ry}; \tag{5}$$

$$\sum_{k=1}^{n_{ij}} X^r_{ijk} \leqslant 1, \text{ если } (i, j) \in T''^r_{ry} \subset T^r_{ry}; \tag{6}$$

$$T'^r_{ry} \cup T''^r_{ry} = T^r_{ry},\ T'^r_{ry} \cap T''^r_{ry} = \varnothing,\ X^r_{ijk} = \{0, 1\}; \tag{7}$$

$$Q^r_{ij} \cdot \prod_{m=1}^{r} \left(1 - \sum_{k=1}^{n_{ij}} X^m_{ijk}\right) = 0, \text{ если } (i, j) \in T''^r_{ry} \cap T^{nr}_{ry}; \tag{8}$$

$$P^{r2}_i - P^{r2}_j = e \cdot L_{ij} \cdot Q^{r2}_{ij} \left(d^2_{ij} + \sum_{m=1}^{r} d^{2m}_{ijk} \cdot X^m_{ijk}\right)^{5,2},\ (i, j) \in T^r_{ry} \tag{9}$$

$$\sum_{k=1}^{n_{ij}} Y^r_{ijk} = 1, \text{ если } (i, j) \in T'^r_{kc} \subset T^r_{kc}; \tag{10}$$

$$\sum_{k=1}^{n_{ij}} Y^r_{ijk} \leqslant 1, \text{ если } (i, j) \in T''^r_{kc} \subset T^r_{kc}; \tag{11}$$

$$T'^r_{kc} \cup T''^r_{kc} = T^r_{kc},\ T'^r_{kc} \cap T''^r_{kc} = \varnothing,\ Y^r_{ijk} = \{0, 1\}; \tag{12}$$

$$(P^r_i - P^r_j) \cdot \prod_{m=1}^{r} \left(1 - \sum_{k=1}^{n_{ij}} Y^m_{ijk}\right) = 0, \text{ если } (i, j) \in T''^r_{kc} \cap T^{nr}_{kc}; \tag{13}$$

$$h_{ij} \cdot \sqrt{\frac{a^1_{ij} \cdot \max(P^{r2}_i, P^{r2}_j) - \min(P^{r2}_i, P^{r2}_j)}{b^1_{ij}}} +$$

$$+ \sum_{m=1}^{r} Y^m_{ijk} \sqrt{\frac{a_{ijk} \cdot \max(P^{r2}_i, P^{r2}_j) - \min(P^{r2}_i, P^{r2}_j)}{b_{ijk}}} = Q^r_{ij}; \tag{14}$$

$$0 < \underline{P}_{i(j)} \leqslant P'_{i(j)} \leqslant \overline{P}_{i(j)}, \text{ если } i\,(j) \in X'; \tag{15}$$

$$0 < Q_{ij} \leqslant \overline{Q}_{ij}, \text{ если } (j,\, i) \in T'; \tag{16}$$

$$\underline{Q}'_{in} \leqslant Q'^{r}_{in} \leqslant \overline{Q}'_{in}, \text{ если } i \in I'_{n}; \tag{17}$$

$$\underline{Q}'_{iu} \leqslant Q'^{r}_{iu} \leqslant \overline{Q}'_{iu}, \text{ если } i \in I'_{u}; \tag{18}$$

$$r = \overline{1, N}.$$

В модели использованы следующие обозначения:

ϑ_r — коэффициент приведения расчетных затрат к началу расчетного периода [1]; Q'^{r}_{n}, Q'^{r}_{u} планируемый поток газа i-му потребителю и отбор газа из i-го источника; X'_{iy} и X'_{ic} — соответственно, множества газопроводных участков и компрессорных станций, смежных к i-му узлу; Q'_{ji} — поток газа от j-го узла к i-му узлу; P'_i, P'_j — давления газа в i-м и j-м узлах; L_{ij} — длина газопроводного участка (i, j); d^{∂}_{ij} и d^{n}_{ijk} — эквивалентные диаметры труб, действующих на участке (i,j) и для k-го варианта технических решений; e — газодинамический коэффициент; a^{∂}_{ij}, b^{∂}_{ij} и a_{ijk}, b_{ijk} — параметры действующей станции, определяемые по методике [2] и те же для k-го варианта технических решений; $\underline{P}_{i(j)}$, $\underline{Q}'_{in}$, Q'_{iu} и $\overline{P}'_{i(j)}$, $\overline{Q}'_{ij}$, Q'_{in}, $\overline{Q}'_{iu}$ — нижние и верхние пределы соответствующих переменных; I_n, $I_н$, I_u — соответственно, множества потребителей, нейтральных узлов и источников; $T_{гу}$, $T_{кс}$ и $T^{n}_{гу}$, $T^{n}_{кс}$ — множества имеющихся и новых газопроводных участков и компрессорных станций; $T'_{у}$, $T'_{кс}$ и $T_{гу}$, $T_{кс}$ — подмножества элементов системы, по которым, соответственно, обязательно и необязательно проведение новых технических решений.

Для действующих компрессорных станций h^{∂}_{ij} принимается равным 1, для новых — 0. Пределы $\underline{Q}'_{in}$, $\underline{Q}'_{iu}$, и $\overline{Q}'_{in}$, $\overline{Q}'_{iu}$ определяются, исходя из соответствующих функций распределений. Индекс r указывает на принадлежность данной величины r-му временному уровню.

Сформулированная выше модель является дискретно-непрерывной задачей стохастического математического программирования, которая может быть сведена к детерминированному эквиваленту, если перейти от вероятностных условий (2), (1) к детерминированным [3]. Однако точное решение данной задачи в общем случае затруднительно из-за его комбинаторного характера и отсутствия эффективных алгоритмов. Поэтому на практике можно ограничиться приближенным решением [4].

Другой подход к реализации модели заключается в использовании эквивалентных условий по дискретным переменным X'_{ijk} и Y'_{ijk} (например, $X'^{2}_{ijk} - X'_{ijk} = 0$, $Y'^{2}_{ijk} - Y'_{ijk} = 0$), что позволяет перейти к полностью непрерывной задаче математического программирования, для решения которой имеется широкий арсенал методов градиентного и поискового типа.

Данная модель применима в первую очередь к районным газотранспортным системам, что обусловлено возникающими трудностями вычислительного характера при рассмотрении больших газоснабжающих систем. Однако при условии агрегирования элементов системы, объединения потребителей (что и практикуется при рассмотрении больших систем газоснабжения), а также при условии рассмотрения ограниченного количества вариантов развития элементов системы, модель может быть применена и к Единой газотранспортной системе или крупным ее подсистемам.

Ер. компл. отд.
ВНИИЭгазпром

Поступило 1.XII.1979.

Լ. Հ. ՀՈՒՆԱՆՅԱՆ

ԳԱԶԱՏՐԱՆՍՊՈՐՏԱՅԻՆ ՑԱՆՑԵՐԻ ՕՊՏԻՄԱԼԱՑՄԱՆ ԴԻՍԿՐԵՏ-ԱՆԸՆԴՀԱՏ ՄՈԴԵԼ

Ա մ փ ո փ ո ւ մ

Առաջարկվում է գազատար ցանցերի դինամիկ զարգացման օպտիմալացման մաթեմատիկական մոդել։ Այն պարունակում է դիսկրետ և անընդհատ փոփոխականներ, որոնք որոշում են համակարգի սխեման և նրա աշխատանքի ռեժիմը։ Ելակետային ինֆորմացիան ենթադրվում է հավանականորեն որոշված։ Մոդելը իրագործվում է մաթեմատիկական ծրագրավորման մեթոդներով, որոնք հաշվի են առնում դիսկրետ և անընդհատ փոփոխականների առկայությունը։

ЛИТЕРАТУРА

1. *Макаров А. А., Мелентьев Л. А.* Методы исследования и оптимизации энергетического хозяйства. М., «Наука», 1973.
2. *Александров А. В., Яковлев Е. И.* Проектирование и эксплуатация систем дальнего транспорта газа. М., «Недра», 1974.
3. *Юдин Д. Б.* Математические методы управления в условиях неполной информации. М., «Советское радио», 1974.
4. *Финкельштейн Ю. Ю.* Приближенные методы и прикладные задачи дискретного программирования. М., «Наука», 1976.