

УДК 622.692.4.001

ЭНЕРГЕТИКА

Н. С. Хуршудов

### Формирование системы моделей оптимизации газоснабжения

(Представлено академиком АН Армянской ССР Г. Т. Адонцем 23/II 1983)

Объективные условия развития и функционирования Единой системы газоснабжения страны (ЕСГ) определяют <sup>(1)</sup> необходимость резервов различной целевой ориентации на магистральных газопроводах (МГ), подземных хранилищах газа (ПХГ), месторождениях и других технологических объектах для обеспечения качественного и бесперебойного газоснабжения потребителей. Целью работы является создание метода выбора структуры потоков газа в ЕСГ и параметров технологических объектов, согласованных с загрузкой системы, режимами транспорта и потребления газа и обеспечивающих надежное газоснабжение.

ЕСГ моделируется как совокупность: а) узлов ( $i = \overline{1, n}$ ) — действующих или возможно новых месторождений, потребителей и ПХГ; б) ветвей ( $j = \overline{1, m}$ ) — действующих или возможно новых МГ. Период развития представлен временными этапами — рядом лет ( $t = \overline{1, T}$ ), в каждом году выделены сезоны ( $\tau = \overline{1, \theta}$ ). Известно исходное состояние ЕСГ — схема и параметры газопроводной сети — пропускные способности МГ ( $P_j$ ), достигнутая емкость ПХГ ( $V_i$ ). По всем временным этапам заданы суммарная добыча газа в ЕСГ, полная потребность в топливе и двусторонние ограничения на потребление (плюс) или добычу (минус) газа в каждом узле ( $q_{it}, q_{it}^*$ ).

Основа модели — система балансовых уравнений:

$$365 \sum_{j=1}^m s_{ij} Q_{jt} = q_{it}; \quad \sum_{j=1}^m c_{\tau} s_{ij} Q_{jt}^* = q_{it}^* \quad (i = \overline{1, n}); \quad (t = \overline{1, T}), \quad (1)$$

где  $s_{ij}$  — элемент матрицы инцидентий узлы-ветви газопроводной сети,  $c_{\tau}$  — число суток в  $\tau$ -м сезоне,  $Q_{jt}, Q_{jt}^*$  — среднесуточная производительность (поток)  $j$ -го МГ, соответственно, за  $t$ -й год и  $\tau$ -й сезон  $t$ -го года, ограниченные пропускными способностями МГ, достигнутыми к  $t$ -му году:  $Q_{jt}, Q_{jt}^* \leq P_{jt}$ .

Требуется определить пропускные способности МГ  $P_{jt}$ , обеспечивающие такие потоки газа  $Q_{jt}$  и  $Q_{jt}^*$  по МГ и объемы подачи (отбора) газа  $q_{it}$  и  $q_{it}^*$  в узлах по всем временным этапам, при которых достигается минимум приведенных затрат на развитие и функционирование системы за весь период  $T$  при выполнении всех огра-

ничений, в том числе обеспечивается уровень надежности газоснабжения (2):

$$R_t = \frac{1 - \sum_{k=1}^K p_{kt}(q_t^\Sigma - q_t^{(k)})}{q_t^\Sigma}, \quad (2)$$

где  $q_t^\Sigma$ —суммарный ресурс газа, выделенный на потребление в  $t$ -м году,  $k, K$ —индекс и общее число всевозможных аварийных ситуаций (АС), возникающих из-за ненадежности МГ,  $p_{kt}$ —вероятность наступления  $k$ -й АС,  $q_t^{(k)}$ —фактическое потребление газа по ЕСГ при наступлении  $k$ -й АС.

Целевая функция:

$$\sum_{t=1}^T \sum_{\tau=1}^{\theta} \left[ \sum_{j=1}^m Z_{jt}(\Pi_{jt}, Q_{jt}^\Sigma) + \sum_{i=1}^n \left\{ E_{it}(q_{it}, q_{it}^\Sigma) + F_{it}(q_{it}, q_{it}^\Sigma) + \right. \right. \quad (3)$$

$$\left. \left. + z_{it}(W_{it}, \eta_{it}^\Sigma) + \varphi_{it}(V_{it}, \rho_{it}^\Sigma) \right\} \right] \rightarrow \min,$$

где  $Z_{jt}$ —функция затрат на развитие и функционирование  $j$ -го МГ в  $t$ -м году при его производительности в  $\tau$ -м сезоне, равной  $Q_{jt}^\Sigma$ ;  $E_{it}$ ,  $F_{it}$ ,  $z_{it}$ ,  $\varphi_{it}$ —функции затрат, аналогичные  $Z_{jt}$ , соответственно, по пункту потребления, месторождению, второму топливному хозяйству (ВТХ), ПХГ;  $W_{it}$ ,  $V_{it}$ —емкость, соответственно, ВТХ и ПХГ;  $\eta_{it}^\Sigma$ ,  $\rho_{it}^\Sigma$ —мощность или производительность, соответственно, ВТХ и ПХГ в  $\tau$ -м сезоне  $t$ -го года.

Основным содержанием процесса (3) является обеспечение совмещения функций резервов различной целевой ориентации с основной функцией ЕСГ—обеспечением нормальной и среднегодовой загрузки ( $q_{it}$ ,  $Q_{it}$ ).

Изложенная задача в рамках ЕСГ или ее отдельных фрагментов отличается большой сложностью и размерностью, и поэтому реализация ее осуществлена на базе метода декомпозиции задач развития ЕСГ (3), заключающегося в разделении задачи на ряд подзадач меньшей размерности с помощью введения дополнительных ограничений на параметры—потоки газа, пропускные способности и коэффициенты загрузки МГ ( $k_{jt}$ ), резервные объемы и мощности объектов. Причем область допустимых значений указанных параметров, определяемая на каждом шаге оптимизации как результат минимизации (снижения) (3), последовательно «сужается», что обеспечивает выполнение условий теоремы о сжатом отображении (4) и сходимость всего процесса.

Алгоритм расчета использует аддитивность (в данном случае, линейной) целевой функции (3) и возможность разбиения множества ограничений (3) в пространстве ( $i, j$ ) и времени ( $t, \tau$ ) и предусматривает организацию циклов оптимизации, в каждом из которых решаются подзадачи (шаги расчета): резервирования ( $P$ )—расчета параметров средств резервирования аварийных недоотпусков; регулирования ( $H$ )—выбора параметров средств регулирования сезонной неравномерности газопотребления; структурной ( $C$ )—оптимизации пото-

ков газа и пропускных способностей МГ. Опишем эти подзадачи на  $l$ -м цикле расчета.

**Подзадача Р.** Здесь разыгрываются все  $K$  АС, в каждой из которых разрабатываются мероприятия, обеспечивающие газоснабжение с минимумом функции цели, полученной из (3) исключением из нее переменных с индексами  $\tau$ . Пропускные способности  $(\Pi_{ii}^{(l-1)})$  и распределение годовых объемов газа по узлам  $(q_{ii}^{(l-1)})$ , полученные в цикле  $l-1$  в задаче С, используются как ограничения:

$$Q_{ii}^{(k)} \leq \Pi_{ii}^{(l-1)}; \quad q_{ii}^{(k)} = q_{ii}^{(l-1)}, \quad (4)$$

где индекс  $(k)$  соответствует значениям переменных в  $k$ -й АС. Балансовое уравнение записывается в виде

$$365 \sum_{t=1}^n s_{ii}^{(k)} \cdot Q_{ii}^{(k)} = q_{ii}^{(k)} + y_{ii}^{(k)} + \pi_{ii}^{(k)} \quad (j = \overline{1, m}; \quad t = \overline{1, T}), \quad (5)$$

где  $y_{ii}^{(k)}$  — объем газа, поступающий в узел  $i$  сверх (ниже)  $q_{ii}^{(l-1)}$  и используемый на установках, для которых газ не является основным топливом (образующий недоотпуск газа);  $\pi_{ii}^{(k)}$  — потери газа.

В качестве дополнительных используются ограничения на  $V_{ii}^p$ ,  $\rho_{ii}^p$ ,  $W_{ii}^p$ ,  $\eta_{ii}^p$ , вытекающие из многоцелевого характера функционирования объектов:

$$V_{ii}^p + V_{ii}^{n(l-1)} = V_{ii} \leq V_{ii}^{\max}; \quad \rho_{ii} = \max(\rho_{ii}^p, \rho_{ii}^{n(l-1)}) \text{ и т. д.}, \quad (6)$$

где  $p$  и  $n$  — индексы объемов (мощностей), предусмотренные (достаточные) для, соответственно, компенсации недоотпусков и регулирования:  $V_{ii}^{n(l-1)}$ ,  $\rho_{ii}^{n(l-1)}$ , ... — рассчитаны („заняты“) на  $l-1$  цикле в задаче Н.

По результатам имитации  $K$  всевозможных АС определяются (как реализации случайного процесса изменения состояний ЕСГ)  $V_{ii}^p$ ,  $\rho_{ii}^p$ ,  $W_{ii}^p$ ,  $\eta_{ii}^p$ , а также коэффициенты запаса пропускной способности МГ для целей компенсации аварийных недоотпусков  $k_{ii}^p$ :

$$k_{ii}^p = \frac{\sum_{k=0}^K p_{ki} Q_{ii}^{(k)}}{Q_{ii}^{(l-1)}}, \quad (7)$$

где  $Q_{ii}^{(l-1)}$  — значение потока газа, полученное на  $l-1$  цикле в задаче С.  $k=0$  соответствует безаварийной ситуации. Очевидно,  $\sum_{k=0}^K p_{ki} = 1$ .

Компоненты целевой функции в подзадаче Р (1) включают, в том числе: по  $Z_{ii}$  — энергозатраты, по  $E_{ii}$  — расход (экономия) резервного топлива при компенсации недоотпуска,  $F_{ii}$  — затраты на дополнительный фонд скважин, обеспечивающий добычу газа из  $i$ -го месторождения сверх  $q_{ii}^{(l-1)}$  на нужды компенсации недоотпусков.

**Подзадача Н.** Здесь минимум целевой функции, полученной из (3) фиксацией переменных без индексов  $\tau$ , достигается варьированием

$Q_{jt}^*$ ,  $q_{jt}^*$  обеспечивающих  $Q_{jt}^* \leq \Pi_{jt}^{(l-1)}$  и  $\sum_{t=1}^b q_{jt}^* = q_{jt}^{(l-1)}$ . Ему соответствуют  $V_{jt}^*$ ,  $\rho_{jt}^*$ ,  $W_{jt}^*$ ,  $\eta_{jt}^*$ , на которые накладываются дополнительные ограничения, подобные (6), но с фиксацией  $V_{jt}^{p(l)}$ ,  $\rho_{jt}^{p(l)}$ ,  $W_{jt}^{p(l)}$ ,  $\eta_{jt}^{p(l)}$ , полученных в задаче  $P$ . Определяются также коэффициенты запаса пропускной способности для целей регулирования:

$$k_{jt}^* = \frac{\frac{1}{\theta} \sum_{t=1}^b Q_{jt}^*}{\max_t (Q_{jt}^*)} \quad (8)$$

Компоненты целевой функции подзадачи  $H$  включают, в том числе: по  $Z_{jt}$ —энергозатраты; по  $E_{jt}$ —эффект, полученный за счет разницы в посезонной стоимости топлива при фиксированном годовом объеме газопотребления  $q_{jt}^{(l-1)}$ .

**Подзадача С.** Целевая функция—(3), исключая переменные с индексами  $\tau$ . Координация всего процесса осуществляется введением соотношений, позволяющих совместить на МГ функции резервов различного характера:

$$\Pi_{jt} = \frac{Q_{jt}}{k_{jt}^{(l)}}; \quad k_{jt}^{(l)} = k_{jt}^{n.z.} \cdot k_{jt}^{p(l)} \cdot k_{jt}^{n(l)}, \quad (9)$$

где  $k_{jt}^{n.z.}$ —коэффициент директивного резерва (<sup>2</sup>). На  $k_{jt}^{(l)}$  накладываются двусторонние ограничения, „сужаемые“ от цикла к циклу.

Реализация системы моделей, осуществленная на примерах оптимизации развития фрагментов ЕСГ с использованием специального (<sup>1,5</sup>) и универсального (<sup>6</sup>) программного обеспечения, показала работоспособность метода и его практическую значимость: потребность в ресурсах на развитие системы значительно снижается по сравнению с вариантом, полученным без обеспечения совместимости резервных объемов и мощностей на объектах—в среднем, по металлу на 10%, по капиталовложениям на 8%, а с учетом дисконтирования до 23% на десятилетний период развития.

**ВНИИЭгазпром**

**Ն. Ս. ԿՈՒՐՇՈՒԴՈՎ**

**Գազամատակարարման օպտիմիզացման մոդելների  
համակարգի կազմավորումը**

Առաջարկվում է գազամատակարարման համակարգի օպտիմիզացման մաթեմատիկական մոդել, որը հաշվի է առնում հուսալիության և գազամատակարարման անհավասարաչափության գործոնները: Բերված է հաշվարկի ալգորիթմը, որը հնարավորություն է տալիս լուծել մեծ շափողականություն ունեցող խնդիրներ, օգտագործելով ելակետային սահմանափակումների բազմության դեկոմպոզիցիայի սկզբունքը:

## ЛИТЕРАТУРА — ՉՐԱՇՈՒՄՆԵՐՆԵՐ

- <sup>1</sup> Н. С. Хуршудов, Ю. А. Казарян, Р. А. Газарян, в кн.: Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики, вып. 24, кн. 1, Ереван, 1982.
- <sup>2</sup> Надежность систем энергетики. Терминология, вып. 95. Под ред. Ю. Н. Руденко. Наука, М., 1980.
- <sup>3</sup> Р. А. Газарян, Н. С. Хуршудов, Изв. АН АрмССР. Серия техн. наук, т. 34, № 1 (1981).
- <sup>4</sup> Б. П. Демидович, И. А. Марон, Основы вычислительной математики, Наука, М., 1970.
- <sup>5</sup> Н. С. Хуршудов, Р. А. Газарян, в кн.: Автоматизированная система плановых расчетов «Газовая промышленность», ВНИИЭгазпром, М., 1983.
- <sup>6</sup> Применение пакетов прикладных программ по экономико-математическим методам в АСУ, Статистика М., 1980.