

<https://doi.org/10.3176/hum.soc.sci.1986.1.05>

*Пааво РООБА*

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ГАЗОСНАБЖАЮЩЕЙ СИСТЕМЫ ПРИ ЕЕ МОДЕЛИРОВАНИИ

Совершенствование и компьютеризация технико-экономического проектирования районных газоснабжающих систем (РГС) — предмет многолетней совместной работы проектного института «Гипроспецгаз» (Ленинград) и Института экономики АН Эстонской ССР. Создан комплекс оптимизационных моделей и реализующих их программ [1—3], разработана и утверждена инструкция по проведению экономико-математических расчетов на ЭВМ при проектировании РГС [4]. На этих началах решена серия практических задач по технико-экономическому обоснованию и проектированию систем газоснабжения ряда районов европейской части страны.

В комплексе расчетов и обоснований РГС выделяются следующие основные этапы: разработка топливно-энергетического баланса для района газоснабжения; анализ режимов газопотребления; выбор трасс газотранспортной сети; разработка технологической схемы этой сети, т. е. определение основных параметров газопроводов.

На каждом из этапов проводится анализ альтернативных вариантов для выбора наилучшего. Имеется в виду, что первоначальное решение задачи каждого этапа побуждает к сбору дополнительной информации, выявлению новых связей между элементами системы, уточнению целей, критериев и ограничений. Это предполагает многократное возвращение к исходным и промежуточным этапам в итеративном процессе расчетов параметров системы и согласования входов-выходов.

При проектировании РГС необходимо считаться с условиями информационной неопределенности, которая выражается как в интервальном или вероятностном задании входной информации, так и в неединственности критериев качества решений.

Решение многокритериальной задачи газоснабжения с учетом неопределенности исходной информации предполагает получение нескольких вариантов газопроводных трасс в зависимости от уровня затрат по каждому критерию. При необходимости для каждого варианта — группы решений — решается компромиссная задача, определяющая некоторый план газоснабжения региона для данной группы решений. Получаемая в результате информация является основанием для определения главных технологических параметров газоснабжающих сетей — отводов от магистральных газопроводов по каждому варианту РГС.

Геометрические параметры газопровода, расстановка компрессорных станций и выбор типа их оборудования при заданных максимальной суточной подаче газа и конфигурации сети определяются с по-

мощью гидравлических расчетов. В настоящей работе мы ограничимся схематичным описанием алгоритма установления диаметров трубопроводной системы, обеспечивающего минимальный расход металла на передачу заданного количества газа.

Проведение гидравлических расчетов в рамках интерактивной системы технико-экономического проектирования РГС преследует двоякую цель: уточнить схему газораспределения, полученную на предыдущих этапах, и определить оптимальные диаметры труб на отводных газопроводных сетях. Задача состоит в том, чтобы выбрать трубы минимального диаметра, при которых газ с заданными характеристиками возможно подать потребителю. При этом должно выполняться условие телескопичности, согласно которому диаметр газопровода на каждом последующем участке в сторону потребителя не должен превышать диаметра на предыдущем участке.

Алгоритм решения этой задачи — итеративный. В нем различаются два типа процедур: процедуры первого типа (I) направлены на выбор труб возможно меньшего диаметра (под контролем телескопичности системы), вторые же (II) — на корректировку геометрических параметров РГС, рассчитанных по указанному критерию, если в результате не обеспечивается необходимое давление газа в пунктах потребления.

Зависимость расчетной пропускной способности  $q$  от параметров газопровода, его состояния и физических свойств газа выражается следующей формулой [5]:

$$q = 0,326 \cdot 10^{-6} \varphi E d^{2,5} \sqrt{\frac{h_k^2 - h_v^2}{\lambda \Delta T_{cp} L \delta}}, \quad (1)$$

где  $\varphi$  — коэффициент, учитывающий наличие в газопроводе подкладных колец, при отсутствии колец  $\varphi = 1$ ;

$E$  — коэффициент, учитывающий состояние внутренней поверхности газопровода;

$d$  — внутренний диаметр газопровода, мм;

$h_k, h_v$  — начальное и конечное давление газа на расчетном участке  $kv$  соответственно, кгс/см<sup>2</sup>;

$\lambda$  — коэффициент гидравлического сопротивления газопровода;

$\Delta$  — относительная плотность газа (по воздуху);

$T_{cp}$  — средняя по длине газопровода температура транспортируемого газа, К;

$L$  — длина расчетного участка, км;

$\delta$  — средний коэффициент сжимаемости газа.

Для технических расчетов коэффициент гидравлического сопротивления газопровода  $\lambda$  с учетом усредненных местных сопротивлений по трассе газопровода (краны, переходы и т. д.) принимается на 5% выше коэффициента трения. При квадратичном режиме течения газа и эквивалентной шероховатости стенки трубы, равной 0,03 мм, коэффициент  $\lambda$  вычисляется по формуле:

$$\lambda = \frac{1,05 \times 0,03817}{d^{0,2}}. \quad (2)$$

При проектировании газопроводов из новых труб без специальных внутренних покрытий и без периодической очистки внутренней полости трубопроводов принимается  $E = 0,92$  и  $\varphi = 1$ . Подставляя эти значения в формулу (1), получаем:

$$q = \sqrt{\frac{h_k^2 - h_v^2}{\beta L \delta}}, \quad (3)$$

где

$$\beta = \frac{\Delta \cdot T_{cp} \cdot 10^{12}}{2,69 \cdot d^{5,2}}. \quad (4)$$

Значения коэффициентов  $\beta$ , используемые в настоящее время при проектировании газопроводов, вычислены для газа с  $\Delta = 0,6$  при  $T_{cp} = 288$  К и могут быть применены при расчете газопроводов с рабочим давлением  $56 \text{ кгс/см}^2$  и ниже. При расчете газопроводов-отводов к газораспределительной станции (ГРС) необходимо производить проверку по максимально допустимой скорости движения газа  $\omega$ , которая на входе ГРС не должна превышать  $20 \text{ м/с}$

$$\omega = 1497,24 \cdot \frac{q \delta}{d^2 h_v}. \quad (5)$$

Исходными данными для проведения гидравлических расчетов районной газоснабжающей системы являются:

- а) схема потоков газа на участках проектируемой сети в максимальных суточных объемах; достигается после выбора трасс по программам пересчета затрат [2];
- б) давление газа в начальных узлах отводных газопроводных систем; вычисляется по программам оптимизации параметров магистральных газопроводов [6];
- в) заданный перечень имеющихся диаметров труб;
- г) стоимость или металлоемкость сооружения  $1 \text{ км}$  газопровода соответственно заданным диаметрам труб;
- д) коэффициенты, характеризующие гидравлические параметры трубопроводов при заданных диаметрах труб; вычисляются по формуле (4);
- е) требуемое давление газа у потребителей.

Подбор труб минимального диаметра производится следующим образом.

1. На участке  $kv$  для трубы минимального диаметра проверяется возможность передать по ней заданный объем газа. Расчет ведется по формуле:

$$h_v = \sqrt{h_k^2 - \beta q_{kv}^2 l_{kv} \delta}, \quad (6)$$

где  $q_{kv}$  — величина потока газа на участке  $kv$ , млн.  $\text{м}^3/\text{сут.}$  при стандартных температуре и давлении газа;  $l_{kv}$  — длина участка  $kv$ , км;  $\beta$  — коэффициент, отвечающий выбранному диаметру трубы и зависящий от удельного веса и температуры транспортируемого газа (см. формулу (4)).

2. Проверяется скорость движения газа  $\omega$ , которая не должна превышать заданной величины (обычно в ГРС  $\omega \leq 20 \text{ м/с}$ ).
3. Если по трубе с диаметром  $d$  невозможно передать объем газа  $q_{kv}$  (дискриминант в формуле (6) отрицателен), то из заданного перечня стандартных диаметров труб выбирается следующий по величине (бóльший), и вычисления по формулам (5) и (6) выполняются заново.
4. Продвижение от участка к участку согласно процедурам I осуществляется таким образом, чтобы вычисленное давление газа в конечном узле одного участка являлось начальным давлением для следующего.
5. Если заданное на входе в ГРС начальное давление газа не обеспе-

чивает нужного давления газа у потребителей при минимальных диаметрах труб, то работа по процедурам I прерывается.

Формальной причиной прерывания может быть одна из трех: а) нарушено условие телескопичности системы, б) превышена предельно допустимая скорость  $\omega$  движения газа, в) недопустимо низко давление газа в конечном узле рассматриваемого участка (ниже требуемого давления у потребителя).

После прерывания следует обращение к процедурам II, согласно которым:

1. Производится просмотр участков в направлении, обратном относительно процедур I, т. е. к началу отвода, с целью обнаружения участка, на котором условие телескопичности позволяет увеличить диаметр трубы.

2. На этом участке вместо минимального диаметра выбирается очередной по величине из заданного набора диаметров.

3. Далее следует обращение к процедурам I.

Таким образом, процесс определения диаметров труб газопровода состоит в чередовании процедур I и II. Разветвленность РГС увеличивает количество просмотров трасс.

Для определения диаметров труб на всех участках требуется конечное число обращений к процедурам I и II: число участков и типов труб конечно. Поскольку увеличение диаметров происходит при этом по необходимости и в наименьшей мере, описанный алгоритм является минимизирующим.

В заключение вычисляются затраты  $p(q)$ , отвечающие реальным потокам газа на участках РГС:

$$p_{kv}(q_{kv}) = \frac{c(d_{kv})l_{kv}}{q_{kv}}, \quad (7)$$

где  $p_{kv}(q_{kv})$  — затраты на передачу единицы потока газа  $q_{kv}$  по участку  $kv$ ;  $c(d_{kv})$  — приведенные затраты на сооружение 1 км газопровода выбранного диаметра  $d_{kv}$  на участке  $kv$ .

Эти показатели затрат, полученные на основании гидравлических расчетов, вводятся в модель РГС [1, 3] взамен усредненных, использовавшихся на предыдущих этапах технико-экономического проектирования, и задача трассировки РГС решается вновь для проверки и уточнения.

Комплекс программ для описанной методики составлен на алгоритмическом языке ФОРТРАН. Схемы РГС, получаемые в результате анализа модели, печатаются в табличной форме. Для наглядности предусмотрен также вывод результатов на графопроектор. Рисуются трубопроводная сеть, и на нее наносится оптимальный план газораспределения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Каганович И. З., Рейснер М. Я. Сетевые модели газоснабжающих систем. — Экономика и матем. методы, 1970, № 3, 454—459.
2. Рооба П. Оптимизация потоков природного газа итеративным пересчетом затрат в газоснабжающей системе. — Изв. АН ЭССР. Обществ. н., 1980, № 3, 296—297.
3. Каганович И. З., Корчемкин М. Б., Рооба П. П. Моделирование районных газоснабжающих систем. Препринт. Кишинев, 1981.

4. Инструкция по проведению экономико-математических расчетов на ЭВМ при проектировании районных газоснабжающих систем. Л., 1976.
5. Справочник по проектированию магистральных трубопроводов. Л., 1977.
6. Жидкова М. А. Алгоритмическое и программное обеспечение системного расчета параметрических газотермодинамических уравнений. Проблемы повышения эффективности разработки и внедрения автоматизированных систем управления. Харьков, 1981.

Представил К. Хабихт

*Институт экономики  
Академии наук Эстонской ССР*

Поступила в редакцию  
29/III 1985

*Paavo ROOBA*

### MODELLEERITAVA GAASIVARUSTUSSÜSTEEMI PÕHILISTE TEHNILIS-MAJANDUSLIKE PARAMEETRITE MÄÄRAMINE

Artiklis on käsitletud majanduslikult põhjendatud rajooni gaasivarustuskeemi koostamist, lähtudes metallikulu minimeerimisest. Ühelt poolt täpsustatakse esialgset gaasivarustuskeemi iteratiivses arvutusprotsessis saadava lisainfo alusel, teiselt poolt määratakse optimaalsed diameetrid harujuhtmetel. Ülesande iteratiivne lahendusalgoritm koosneb kaht tüüpi protseduuridest: esimest tüüpi protseduuri puhul valitakse igal vaadeldaval gaasijuhtme lõigul kõige väiksem lubatav diameeter; teist tüüpi protseduuri korral suurendatakse teatava gaasijuhtme osa diameetrit juhul, kui esimese protseduuri abil valitud diameetrid ei taga tarbijale nõutavat gaasirõhku.

Vaadeldud algoritme ja mudeleid realiseeriv programmide süsteem on koostatud algoritmilises keeles FORTRAN.

*Eesti NSV Teaduste Akadeemia  
Majanduse Instituut*

Toimetusse saabunud  
29. III 1985

*Paavo ROOBA*

### ON FIXING THE MAIN TECHNOLOGICAL AND ECONOMIC PARAMETERS OF A MODELLED GAS SUPPLY SYSTEM

The author discusses the compilation of an economically substantiated scheme of the regional gas supply system, proceeding from the minimization of the metal inputs. The aim is to elaborate a preliminary gas supply scheme using additional information obtained by an iterative calculation process, and to fix optimal diameters of branch gas lines. The iterative solution algorithm of the problem consists of two types of procedures: firstly, the smallest permissible diameter is found for every section of the gas line studied; secondly, if the diameters chosen on the basis of the first procedure do not guarantee the required gas pressure for consumers, the diameter of a part of the gas line will be increased using the other procedure.

The system of programmes for realizing the algorithms and models discussed has been compiled in the algorithmic language FORTRAN.

*Academy of Sciences of the Estonian SSR,  
Institute of Economics*

Received  
March 29, 1985