

Параметры аналитического решения (4)  $\lambda_l, K_l, d_l$  получаются в следующей последовательности:

$\lambda_l$  — корни характеристического уравнения  $n$ -го порядка,

$$\det[E - \lambda \cdot F \cdot (E - A)^{-1}] = 0; \quad (5)$$

$K_l$  — соответствующие  $\lambda_l$  собственные векторы матрицы  $F \cdot (E - A)^{-1}$ ;

$d_l$  — постоянные, определяемые из системы уравнений

$$\sum_{l=1}^n d_l \cdot K_l = Y(0), \quad (6)$$

где  $Y(t) = Y_j(t)$  — вектор-столбец конечного спроса на продукцию секторов экономики в начальный момент времени.

#### Источник

1. Гранберг, А. Г. Динамические модели народного хозяйства : учеб. пособие. — М. : Экономика, 1985. — 240 с.

*М. П. Дымков, д-р физ.-мат. наук, профессор  
dymkov\_m@bseu.by  
БГЭУ (Минск)*

## МЕТОДЫ ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ В ЗАДАЧАХ ОПТИМИЗАЦИИ ГАЗОТРАНСПОРТНЫХ СЕТЕЙ

В работе рассматривается возможность математического моделирования распределенных газотранспортных сетей на основе методов геометрического программирования. Динамика движения газа в сети трубопроводов описывается достаточно сложными нелинейными моделями, отягощенными различного рода ограничениями [1]. Некоторые подходы на основе многошаговых и 2-Д линейных систем управления рассматривались в работах [2, 3]. На предварительной стадии моделирования можно использовать также простейшие модели из теории графов [4], что позволит определить некоторые критические значения давления и объемов прокачиваемого газа для входящих и исходящих трубопроводов, в местах расположения компрессорных станций, точках подачи и отбора газа и др. Предполагается, что на следующем этапе моделирования потребуется детализация характеристик сети газопровода, так как линеаризованные модели чувствительны к возмущениям, которые порождаются нелинейностью протекающих процессов.

Задачи геометрического программирования обычно формулируются в терминах так называемых позиномов [5] следующим образом:

$$g(t) = \sum_{i=1}^{n_0} c_i \prod_{j=1}^m t^{a_{ij}} \rightarrow \min_t \text{ при ограничениях } h_k(t) = \sum_{i=1}^{n_k} c_i \prod_{j=1}^m t^{a_{ij}} \leq 1, \quad k = 1, 2, \dots, p, \quad t > 0,$$

где  $m_k = n_{k-1} + 1$ ,  $k = 1, 2, \dots, p$ ,  $n_p = n$ ,  $c_i > 0$ ,  $a_{ij} \in R$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ ,  $j = 1, 2, \dots, m$ .

Здесь функции вида  $\prod_{j=1}^m t^{a_{ij}} = t_1^{a_{i1}} \cdot t_2^{a_{i2}} \cdot \dots \cdot t_m^{a_{im}}$ ,  $i = 1, 2, \dots, n_0$  называются позиномами.

Если ввести обозначения

$$z_j = \ln t_j, \quad j = 1, 2, \dots, m, \quad b_i = \ln c_i, \quad x_i = \sum a_{ij} z_j + b_i, \quad i = 1, 2, \dots, n,$$

то задачу геометрического программирования можно представить в виде:

$$g(z) = \sum_{i=1}^{n_1} e^{x_i} \rightarrow \min_x,$$

при ограничениях

$$x = Ax + b, \quad h_k(z) = \sum_{i=m_k}^{n_k} e^{x_i} \leq 1, \quad k = 1, 2, \dots, p,$$

где  $x = x_1, \dots, x_n$ ;  $b = b_1, \dots, b_n$ ;  $A$  —  $(n \times m)$ -матрица из элементов  $a_{ij} \in R$ .

В данной работе предлагается для дискретных нелинейных моделей распределенных газотранспортных сетей использовать методы геометрического программирования.

### Источники

1. *Osiadacz, A.* Simulation and Analysis of Gas Network / A. Osiadacz. — Houston, TX : Gulf Publishing Co, 1987. — 273 p.
2. *Dymkov, M.* Optimization problem for some class of hybrid differential-difference systems with delay / M. Dymkov // J. Belarusian State Univ. Mathematics and Informatics. — 2021. — Vol. 1. — P. 6–17.
3. *Astrovskii, A. I.* Mathematical Simulation of Gas Transportation Pipelines Networks: Repetitive and 2-D System Theory Setting / A. I. Astrovskii, M. P. Dymkov // Науч. тр. / Белорус. гос. экон. ун-т; редкол.: В. Ю. Шутилин (гл. ред.) [и др.]. — Минск, 2021. — Вып. 14. — С. 16–24.
4. *Dymkou, S.* Graph and 2-D systems approach in gas transport network modeling / S. Dymkou, G. Jank, T-P Azevedo Perdicou'lis // Intern. J. of Tomography and Statistics. Applications of optimal control, robust control and stabilization, applications in industry. — 2007. — Vol. 6. — P. 21–27.
5. *Dembo, R. S.* Current state of the art of algorithms and computer software for geometric programming / R. S. Dembo // J. Optimization Theory and Application. — 1978. — Vol. 26, № 2. — P. 149–183.

**N. N. Zougheib, Ph.D. Candidate**  
BSEU (Minsk)  
nnz2004@yahoo.com

## THE INTEGRATION OF DIGITAL TRANSFORMATION AND INFORMATION TECHNOLOGIES IN HIGHER EDUCATION

The lure of new information technologies in higher education remains uncertain across most universities in the world. No doubt that information technology (IT) has great potential to enhance the teaching methods; however, there is no standardized IT system that defines how new technologies can be used to boost the productivity in the academic field. Traditionally, higher education is labor intensive field that needs educated and skilled people for the success of the educational process, which raises many questions about the feasibility of replacing technology for labor. The advancement of Information Technology (IT) altered the business strategies and practices in the higher education field, considerable budgets spent at colleges and universities to develop IT systems that help to transmit from traditional education methods into digital ones, the information technologies help faculties to develop and gain more knowledge that are essential for the teaching process. While universities encourage their faculties to implement innovated IT tools for their preparation and delivery of classes, many factors impede the integration of IT systems and resist the acceptance of these technologies,