

Тевяшев А. Д.

СТОХАСТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ И МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ГАЗОТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

Рассматривается проблема оптимизации фактических режимов работы газотранспортных систем (ГТС) на заданном интервале времени $[0 - T]$. Приведены стохастические модели и методы оптимизации фактических режимов работы ГТС. Приведена стохастическая постановка задачи, решение которой позволяет получать оптимальный по энергозатратам план работы ГТС на интервале времени $[0 - T]$, обладающий режимной устойчивостью к прогнозируемому уровню стохастических возмущений

Ключевые слова: газотранспортная система, квазистационарный режим, стохастические модели, методы оптимизации.

1. Введение

В настоящее время накоплен значительный опыт по математическому моделированию и оптимизации режимов транспорта и распределения природного газа в газотранспортных системах (ГТС) [1 – 8]. Однако решение задачи оптимизации стационарных режимов на заданном интервале времени $[0 - T]$ с использованием детерминированных моделей установившегося потокораспределения (при точно заданных значениях всех параметров математических моделей технологического оборудования ГТС и точно заданных значениях граничных условий) приводит к тому, что получаемые оптимальные решения находятся, как правило, на границе области допустимых режимов (ОДР). Более того, время существования стационарных режимов работы ГТС практически бесконечно мало по сравнению с заданным интервалом оптимизации $[0 - T]$. На практике это означает, что оптимизация проводится не для интервала времени $[0 - T]$, а для некоторого конкретного момента времени $t \in [0 - T]$. Аналогичная ситуация возникает и при использовании детерминированных моделей нестационарного неизотермического течения природного газа в ГТС.

Поэтому использование для оптимизации фактических режимов работы ГТС математических моделей стационарных и нестационарных режимов работы ГТС позволяет только оценить потенциал оптимизации. Для практической реализации имеющегося в ГТС потенциала оптимизации необходимо перейти к более адекватным стохастическим моделям квазистационарных неизотермических режимов (СМКНР) транспорта и распределения целевых продуктов в ГТС.

2. Стохастическая модель квазистационарного неизотермического режима транспорта и распределения природного газа в ГТС

В качестве модели структуры ГТС используется связный граф $G(V, E)$, где V – множество индексов узлов, а E – множество индексов дуг графа $G(V, E)$, которое представим в виде $E = M \cup N$, где $M = M_a \cup M_p$ –

множество индексов реальных дуг графа сети $G(V, E)$, с M_a – газоперекачивающими аппаратами, M_p – участками трубопроводов; $N = L \cup F$; L – множество фиктивных дуг, которые соответствуют входам ГТС, через которые природный газ поступает в ГТС; F – множество фиктивных дуг, которые соответствуют выходам ГТС, через которые осуществляется отбор природного газа потребителями.

Стохастическую модель квазистационарного неизотермического режима транспорта и распределения природного газа в ГТС представим в виде взаимосвязанной системы стохастических моделей:

- для участков трубопроводов

$$M_{\omega} \{ P_{in}^2(\omega) - P_{ik}^2(\omega) - \beta_i(\omega) q_i^2(\omega) \} = 0, \quad i \in M_p, \quad (1)$$

$$M_{\omega} \{ T_{ik}(\omega) - T_{ip}(\omega) + (T_{in}(\omega) - T_{ip}(\omega)) e^{-\alpha_i(\omega)L_i} \} = 0, \quad i \in M_p; \quad (2)$$

- для газоперекачивающих агрегатов

$$M_{\omega} \{ \tilde{a}_i(\omega) P_{in}^2(\omega) - P_{ik}^2(\omega) + \tilde{b}_i(\omega) P_{in}(\omega) q_i(\omega) - \tilde{c}_i(\omega) q_i^2(\omega) \} = 0, \quad i \in M_a, \quad (3)$$

$$M_{\omega} \left\{ T_{ik}(\omega) - T_{in}(\omega) \varepsilon_i(\omega)^{\frac{m-1}{m}} \right\} = 0, \quad i \in M_a; \quad (4)$$

- для условий согласования параметров природного газа в узлах ГТС:

по расходу

$$M_{\omega} \left\{ \sum_{i \in G_j^+} \rho_i(\omega) q_i(\omega) - \rho(\omega) \sum_{j \in G_j^-} q_j(\omega) \right\} = 0, \quad j \in V; \quad (5)$$

- по температуре

$$M_{\omega} \left\{ \sum_{i \in G_j^+} T_{in}(\omega) \rho_i(\omega) q_i(\omega) - T_{ik}(\omega) \rho(\omega) \sum_{j \in G_j^-} q_j \right\} = 0, \quad j \in V; \quad (6)$$

- по компонентному составу природного газа

$$M_{\omega} \left\{ \sum_{i \in G_j^+} \frac{\rho_i(\omega) q_i(\omega)}{M_i(\omega)} - \frac{\rho(\omega)}{M(\omega)} \sum_{j \in G_j^-} q_j(\omega) \right\} = 0, \quad j \in V, \quad (7)$$

где $\omega \in \Omega$, (Ω, \mathcal{B}, P) - вероятностное пространство; Ω - пространство элементарных событий; \mathcal{B} - σ -алгебра событий из Ω ; P - вероятностная мера на \mathcal{B} ; G_j^+ - множество индексов дуг графа сети, по которым газ поступает в j -й узел, G_j^- - множество индексов дуг графа сети, по которым газ отбирается из j -го узла; $P_{in}(\omega)$, $P_k(\omega)$, $T_{in}(\omega)$, $T_k(\omega)$, $q_i(\omega)$ - случайные величины, характеризующие, соответственно, начальные и конечные давления, температуры и расход на i -м участке; $M_j(\omega)$, $j=1..n$ - случайная величина, характеризующая молярную массу $x_j(\omega)$ j -го компонента природного газа в $q_j(\omega)$ -м потоке; $\bar{x}_j(\omega) = (x_1^j(\omega), x_2^j(\omega), \dots, x_n^j(\omega))$ - случайный n -мерный вектор молярных долей компонент природного газа в $q_j(\omega)$ -м потоке; $\beta_j(\omega)$ - коэффициент гидравлического сопротивления; $\theta_j(\omega)$ - случайная величина, определяющая коэффициент теплопередачи от газа к грунту; $\rho_j(\omega)$ - плотность природного газа в $q_j(\omega)$ -м потоке, входящем в j -й узел; $\rho(\omega)$ - результирующая плотность природного газа после смешения природного газа во всех потоках $q_j(\omega)$, выходящих из j -го узла.

Система уравнений (1 – 7) определяет класс СМКНР транспорта и распределения природного газа в ГТС и имеет огромную размерность, определяемую количеством участков трубопроводов и газоперекачивающих агрегатов (ГПА) которая для реальных ГТС может составлять сотни и тысячи уравнений.

Для разрешимости системы уравнений (1 – 7) необходимо задать граничные условия на всех входах и выходах ГТС. При постановке задачи оптимизации режимов транспорта и распределения природного газа в ГТС необходимо задать давление, температуру и состав природного газа на всех входах и расход газа на всех выходах ГТС. Все граничные условия задаются в виде своих условных математических ожиданий на интервале времени $[0 - T]$ и их дисперсий [9].

3. Стохастическая постановка задачи оптимизации режимов

Математическая постановка задачи оптимизации планируемых режимов транспорта и распределения природного в ГТС может быть представлена в виде задачи нелинейного стохастического программирования (НСП) M -типа с построчными вероятностными и статистическими ограничениями вида:

$$M_{\omega} \sum_{j=1}^I \gamma_j \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^{M_k} N_{ij}(k, \omega) \rightarrow \min_{U_0(k) \in \Omega}, \quad (8)$$

$$\Omega_1: \max_{j \in K_C} \lambda_i^1 P_i (PT_{ij|ГПА} \in ODP_{jKC}) \geq \beta, \quad (9)$$

$$\max_{i \in N} \lambda_i^2 P_i (P_j^+ \leq P_j(k, \omega)) \geq \alpha, \quad (10)$$

$$\max_{i \in V} \lambda_i^3 P_i (P_j^+ \geq P_j(k, \omega)) \geq \gamma, \quad (11)$$

где $N_{ij}(k, \omega)$ - случайные величины, характеризующие значения затрат мощности i -го ГПА на j -й КС в момент времени k ; выражение (9) определяет значение критерия режимной устойчивости j -ой КС; (10) определяет значение критерия риска возникновения дефицита поставок природного газа j -му потребителю; (11) определяет значение критерия риска возникновения аварийной ситуации, связанной с превышением фактическим давлением $P_j(k, \omega)$ в j -м узле ГТС своего максимально допустимого значения P_j^+ ; $\Omega = \Omega_1 \cap \Omega_0$; Ω_0 - область допустимых режимов работы ГТС, определяемая статистическими построчными ограничениями (1 – 7) СМКНР.

4. Метод решения задачи оптимизации режимов

Решение задачи (8 – 11) осуществляется в результате выполнения следующих этапов: понижения порядка системы уравнений (1 – 7) методом контурных потоков; построение детерминированного эквивалента задачи (8 – 11); получение приближённого решения детерминированного эквивалента на основе одной из стратегий оптимизации [10].

5. Выводы

1. Показано, что осуществить оптимизацию фактических режимов работы ГТС возможно только на основе СМКНР.

2. Решение задачи (8 – 11) позволяет получать оптимальный по энергозатратам план работы ГТС на заданном интервале времени $[0 - T]$, обладающий режимной устойчивостью к прогнозируемому уровню стохастических возмущений.

Литература

1. Евдокимов, А. Г. Потокораспределение в инженерных сетях [Текст] / А. Г. Евдокимов, В. В. Дубровский, А. Д. Тевяшев. – М.: Стройиздат, 1979.
2. Евдокимов, А. Г. Оперативное управление потокораспределением в инженерных сетях [Текст] / А. Г. Евдокимов, А. Д. Тевяшев. – Харьков: Вища школа, 1980.
3. Сарданашвили, С. А. Расчетные методы и алгоритмы (трубопроводный транспорт газа) [Текст] / С. А. Сарданашвили. – М.: ФГУП «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина, 2005. – С. 577.
4. Трубопроводные системы энергетики. Управление развитием и функционированием [Текст] / под общ. ред. А. Д. Тевяшева. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 2004. – С. 322–330.
5. Нормы технологического проектирования магистральных газопроводов [Текст] / Открытое акционерное общество Газ-Пром, Общество с ограниченной ответственностью «Научно-исследовательский институт природных газов и газовых технологий» ВНИИГАЗ. – Москва, 2004.
6. Математическое моделирование и оптимизация систем, тепло-, водо-, нефте- и газопотребления [Текст] / А. П. Меренков, Е. В. Сепнова, С. В. Сумароков и др. – Новосибирск: В. О. «Наука», 1992. – 406 с.
7. Волков, И. К. Случайные процессы [Текст] / И. К. Волков, С. М. Зуев, Г. М. Увяткова. – М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 1999. – С. 448.
8. Трубопроводные системы энергетики: математическое моделирование и оптимизация [Текст] / Н. Н. Новицкий, М. Г. Сухарев, А. Д. Тевяшев и др. – Новосибирск: На-

- ука, 2010. – 419 с.
9. Информационно-аналитическая система прогнозирования процессов потребления природного газа в газотранспортной системе Украины [Текст] / А. Д. Тевяшев, Е. Н. Выходцев, В. Н. Щелкалин, Ю. В. Игнатова // Радиоэлектроника и информатика. – 2011. – №3 (54). – С. 92-98.
 10. Тевяшев, А. Д. Об одной стратегии оптимизации режимов работы газотранспортных систем [Текст] / А. Д. Тевяшев, О. А. Тевяшева, В. С. Смирнова, В. А. Фролов // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2010. – №4/3(46). – С. 48-52.

СТОХАСТИЧНІ МОДЕЛІ ТА МЕТОДИ ОПТИМІЗАЦІЇ РЕЖИМІВ РОБОТИ ГАЗОТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ

Розглядається проблема оптимізації фактичних режимів роботи газотранспортних систем (ГТС) на заданому інтервалі часу $[0 - T]$. Наведено стохастичні моделі і методи оптимізації фактичних режимів роботи ГТС. Наведена стохастична постановка задачі, рішення якої дозволяє отримувати оптималь-

ний за енерговитратами план роботи ГТС на інтервалі часу $[0 - T]$, що володіє режимної стійкістю до прогнозованого рівня стохастичних збурень

Ключові слова: газотранспортна система, квазістаціонарний режим, стохастичні моделі, методи оптимізації.

Тевяшев Андрей Дмитриевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой прикладной математики, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Украина, e-mail: tad45@mail.ru

Тевяшев Андрій Дмитрович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри прикладної математики, Харківський національний університет радіоелектроніки, Україна, e-mail: tad45@mail.ru

Tevyashev Andrey, Kharkiv National University of Radioelectronics, Ukraine, e-mail: tad45@mail.ru