



Секция 2. Современные информационные, ресурсосберегающие, экологически безопасные технологии в энергетике

НОВЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ, РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ГАЗОТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМАХ

Тевяшев А.Д.

Харьковский национальный университет радиоэлектроники

Газовая отрасль является одной из важнейших составляющих топливно-энергетического комплекса, ее влияние на другие отрасли народного хозяйства и национальную безопасность трудно переоценить. Технологической основой газовой отрасли является газотранспортная система (ГТС).

Главными технологическими элементами ГТС являются многониточные магистральные газопроводы (МГ) и многоцеховые компрессорные станции (КС). Магистральные газопроводы ГТС соединены между собой системными газопроводами-перемычками, которые обеспечивают повышение показателей надежности ГТС и обеспечивают возможность эффективно маневрировать направлениями потоков газа.

С формальной точки зрения, ГТС относятся к классу целенаправленных, многомерных, многосвязных нелинейных стохастических систем с распределенными параметрами, для которых характерны сетевая многоуровневая структура, значительная пространственная распределенность, наличие ЛПР в контуре управления, наличие непрерывных и дискретных управляющих воздействий, высокий уровень неопределенности целей, структуры, параметров и состояний, а также воздействий со стороны окружающей среды.

Управление такой системой требует создания и внедрения эффективных механизмов, базирующихся на современных информационных технологиях, геоинформационных и SCADA системах и технологиях, предоставляющих уникальные возможности пространственно-временного мониторинга и управления режимами работы ГТС.

В докладе рассмотрены новые информационные, ресурсосберегающие и экологически безопасные технологии транспорта и распределения природного газа в ГТС.

В настоящее время накоплен значительный опыт по математическому моделированию и оптимизации режимов транспорта и распределения природного газа в ГТС [1,2]. 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 допустимой режимной области. 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 $t \in [0-T]$.

Поэтому, использование для оптимизации фактических режимов работы ГТС детерминированных моделей позволяет только оценить *потенциал* оптимизации. Для практической реализации имеющегося в ГТС *потенциала* оптимизации необходимо перейти к более адекватным стохастическим моделям квазистационарных режимов транспорта и распределения целевых продуктов в ГТС на заданном интервале времени $[0-T]$.

В докладе приведена 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, с M_a - газоперекачивающими аппаратами, M_p - участками трубопроводов; $N = L \cup F$, L – множество фиктивных дуг, соответствующих входам ГТС, через которые природный газ поступает в ГТС, F – множество



Секция 2. Современные информационные, ресурсосберегающие, экологически безопасные технологии в энергетике

фиктивных дуг, соответствующих 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-

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

$$M_{\omega} \{ T_{iK}(\omega) - T_{iГP}(\omega) + (T_{iH}(\omega) - T_{iГP}(\omega)) e^{-a_i(\omega)L_i} \} = 0, \quad i \in M_p; \quad (2)$$

для газоперекачивающих агрегатов-

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

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

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 -

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

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, B, P) - вероятностное пространство, Ω - пространство элементарных событий; B - σ -алгебра событий из Ω ; P - вероятностная мера на 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; $P_{iH}(\omega)$, $P_{iK}(\omega)$, $T_{iH}(\omega)$, $T_{iK}(\omega)$, $q_i(\omega)$ - случайные величины характеризующие соответственно начальные и конечные давления, температуры и расход на i -м участке. $M_j(\omega)$, $j=1 \dots n$ - 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; $\rho_j(\omega)$ - 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.

Известно [1], что ресурс технологического оборудования ГТС, в первую очередь силового - ГПА, определяется двумя основными факторами - количеством включений / отключений и тяжестью режима, т. е. степенью удалённости фактического режима от



Секция 2. Современные информационные, ресурсосберегающие, экологически безопасные технологии в энергетике

предельно допустимого, определяемого областью допустимых режимов (ОДР) работы ГПА. В реальных условиях эксплуатации ГПА фактические границы ОДР точно не известны и могут быть только косвенно оценены в зависимости от оценок технического состояния ГПА и метрологических характеристик средств измерения параметров газовых потоков на входе и выходе ГПА. Более того, текущее положение рабочей точки ГПА в ОДР, также точно не известно и может быть оценено в виде условного математического ожидания некоторой случайной величины. Таким образом, на содержательном уровне, задача оптимизации плановых режимов работы ГТС для заданного интервала времени $[0-T]$ заключается в выборе такой структуры линейной части ГТС, структуры и параметров технологического оборудования, при которых математическое ожидание энергетических затрат силового оборудования на интервале времени $[0-T]$ будет минимальным, а вероятности нахождения рабочих точек технологического оборудования в их ОДР, близкими к единице.

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

$$M \sum_{\omega} \gamma_j \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^{Ma} N_{ij}(k, \omega) \rightarrow \min_{U_0(k) \in \Omega}; \quad (8)$$

$$\Omega_1: \max_{j \in K_C} \lambda_1^1 P_i (PT_{ij\text{ГПА}} \in \text{ОДР}_{j\text{КС}}) \geq \beta; \quad (9)$$

$$\max_{i \in N} \lambda_1^2 P_i (P_j^- \leq P_j(k, \omega)) \geq \alpha; \quad (10)$$

$$\max_{i \in V} \lambda_1^3 P_i (P_j^+ \geq P_j(k, \omega)) \geq \gamma, \quad (11)$$

где $N_{ij}(k, \omega)$ – случайные величины, характеризующие значения затраты мощности i -го ГПА на j -й КС в момент времени k ; выражение (9) определяет значение критерия режимной устойчивости j -ой КС; выражение (10) определяет значение критерия риска возникновения дефицита поставок природного газа j -му потребителю; выражение (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_1 – область допустимых режимов работы ГТС, определяемая вероятностными ограничениями (9)-(11) управляемых переменных; Ω_0 – область допустимых режимов работы ГТС, определяемая системой уравнений (1)-(7) стохастической модели квазистационарного неизотермического режима транспорта и распределения природного газа в газотранспортных системах. В докладе приведен эффективный алгоритм решения задачи (8)-(11) [2], позволяющий получать не только оптимальный по энергозатратам план работы ГТС на интервале времени $[0-T]$, но и план, обладающий режимной устойчивостью к прогнозируемому уровню стохастических возмущений.

1. Трубопроводные системы энергетики: математическое моделирование и оптимизация/ Н.Н. Новицкий, М.Г. Сухарев, А.Д. Тевяшев и др. – Новосибирск: Наука, 2010. – 419 с.

2. Об одной стратегии оптимизации режимов работы газотранспортных систем. А.Д. Тевяшев, О.А.Тевяшева, В.С. Смирнова, В.А. Фролов // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2010. №15 – С. 94-98.