

# ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ ГАЗОТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ НА СТАДИИ ЕЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ИЛИ МОДЕРНИЗАЦИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ МНОГОПОТОЧНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ

*Л.Г. Афраймович<sup>1</sup>, К.И. Дикарев<sup>1</sup>, А.А. Макаров<sup>2</sup>, Г.И. Наместников<sup>2</sup>,  
Д.В. Парфёнов<sup>2</sup>, С.Ф. Перетрухин<sup>3</sup>, М.Х. Прилуцкий<sup>1</sup>, Н.В. Старостин<sup>1</sup>,  
А.В. Филимонов<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*Нижегородский госуниверситет им. Н.И. Лобачевского*

<sup>2</sup>*ОАО «Гипрогазцентр», Нижний Новгород*

<sup>3</sup>*Российский федеральный ядерный центр – Всероссийский НИИ экспериментальной физики, Саров*

Рассматривается задача расчета оптимизационных режимов для участков газотранспортной системы, которая заключается в определении необходимой модернизации системы и расчете таких ее параметров, которые доставляют минимум функции суммы эксплуатационных и капитальных затрат на разработку и реализацию дополнительных элементов газотранспортной системы. Рассматриваются алгоритмы решения указанной задачи, а также средства повышения эффективности решения путем привлечения параллельной вычислительной среды.

## **Введение**

В настоящее время в газовой промышленности России первостепенное значение приобретает проблема определения оптимальных объемов добычи газа, обеспечивающих потребности внутри страны и на экспортных рынках, в зависимости от различных прогнозных сценариев спроса на газ, возможностей ресурсной базы и обеспеченности инвестициями. При этом актуальной становится задача обеспечения оптимальных и эффективных режимов функционирования крупных участков газотранспортных систем в рамках линейно-производственных управлений магистральных газопроводов.

Наряду с задачами эффективного диспетчерского управления при помощи диалоговых программных средств, предназначенных для нахождения параметров оптимальных режимов, возникает задача оптимального проектирования или модернизации существующих участков газотранспортных систем. Такая задача в ряде случаев подразумевает расчетную оценку оптимальных режимов системы, в том числе и на стадии проектной разработки.

Учитывая сложность рассматриваемых газотранспортных систем, для ее решения необходимо построение полноценных компьютерных моделей данных участков, а также привлечение современных численных методов оптимизации и подходов теории многоуровневых иерархических систем. В рамках данной работы рассматривается задача расчетного определения оптимальных режимов функционирования газотранспортной системы по критериям минимизации суммарных экономических затрат.

## **1. Постановка задачи**

Газотранспортная система представляет собой совокупность элементов, содержащих входы и выходы системы, коммуникационные элементы и «обобщенные» элемен-

ты. Каждый обобщенный элемент является участком газотранспортной системы и представляет собой совокупность ряда существующих и/или проектируемых объектов. Обобщенный элемент может включать в себя компрессорные станции, линейную часть магистрального газопровода, регуляторы давления и т.д. Обобщенные элементы описываются как «черные ящики», задавая для которых коммерческий расход газа на выходе, температуру газа, его относительную плотность по воздуху и теплотворную способность на входе, давление на входе и выходе можно получить коммерческий расход, температуру газа, его относительную плотность по воздуху, теплотворную способность на входе и затраты (эксплуатационные и капитальные), связанные с реализацией полученных параметров.

Пусть  $G=(V, A)$  – взвешенный одностороннесвязный ориентированный граф без петель и контуров,  $A \subseteq V^2$ . Множество вершин графа  $V$  соответствует элементам системы, множество дуг  $A$  – связям между ними. Через  $V_{ex}, V_{вых}$  обозначим множества входов и выходов системы, соответственно,  $V_{ex}, V_{вых} \subseteq V$ . Для каждого из элементов  $v, v \in V \setminus (V_{ex} \cup V_{вых})$ , заданы следующие функции:  $q_v^{out}(q^{in}, p^{in}, p^{out})$  – определяют расход на выходе элемента  $v$  при заданных расходе на входе, давлениях на входе и выходе этого элемента;  $c_v^1(q^{in}, q^{out}, p^{in}, p^{out})$  и  $c_v^2(q^{in}, q^{out}, p^{in}, p^{out})$  – определяют эксплуатационные и капитальные затраты элемента  $v$  при заданных расходах на входе и выходе, давлениях на входе и выходе этого элемента. Для каждого из входов системы заданы следующие параметры:  $p_v^{ex}$  – давление на входе,  $q_v^{ex}$  – максимально возможный расход на входе,  $v \in V_{ex}$ . Для каждого из выходов системы заданы:  $p_v^{вых}$  – требуемое давление на выход,  $q_v^{вых}$  – требуемый объем расхода на выходе,  $v \in V_{вых}$ . Обозначим через  $x_{ij}$  неизвестную величину, определяющую расход вдоль дуги  $(i, j), (i, j) \in A$ ; через  $z_i, y_i$  – неизвестные величины давлений на входе и выходе вершины  $i$ , соответственно,  $i \in V$ . Для удобства введем следующие обозначения:  $In(i) = \{j | (j, i) \in A\}$ ,  $Out(i) = \{j | (i, j) \in A\}$ ,  $i \in V$ .

Исходная задача ставится как следующая задача математического программирования:

$$\sum_{(i,j) \in A} x_{ij} \leq q_i^{ex}, i \in V_{ex}, \quad (1)$$

$$\sum_{(j,i) \in A} x_{ji} = q_i^{вых}, i \in V_{вых}, \quad (2)$$

$$z_i = p_i^{ex}, i \in V_{ex}, \quad (3)$$

$$y_i = p_i^{вых}, i \in V_{вых}, \quad (4)$$

$$z_i = y_j, j \in Out(i), i \in V, \quad (5)$$

$$\sum_{(i,j) \in A} x_{ij} - q_i^{out}(\sum_{(j,i) \in A} x_{ji}, y_i, z_i) = 0, i \in V \setminus (V_{вых} \cup V_{ex}), \quad (6)$$

$$x_{ij}, y_{ij} \geq 0, (i, j) \in A, \quad (7)$$

$$\sum_{i \in V \setminus (V_{вых} \cup V_{ex})} (c_i^1(\sum_{(j,i) \in A} x_{ji}, \sum_{(i,j) \in A} x_{ij}, y_i, z_i) + c_i^2(\sum_{(j,i) \in A} x_{ji}, \sum_{(i,j) \in A} x_{ij}, y_i, z_i)) \rightarrow \min. \quad (8)$$

Приведенные ограничения означают: (1) – ограничения на максимальные объемы расходов на входах; (2) – ограничения на требуемые объемы расходов на выходах; (3), (4) – ограничения на заданные давления на входах и выходах, соответственно; (5) – ограничения равенства входных и выходных давлений смежных вершин; (6) – ограничения баланса расходов в вершинах с учетом их возможных потерь; (7) – естественные

ограничения на переменные. Критерий (8) определяет минимизацию суммарных обобщенных затрат.

Содержательно приведенную задачу можно описать следующим образом. Требуется, учитывая значения параметров для входных и выходных элементов, определить для каждого обобщенного элемента значения коммерческих расходов газа, давления, температуры, относительной плотности газа по воздуху и его теплотворной способности таким образом, чтобы суммарные приведенные затраты всех обобщенных элементов в системе были минимальны.

## **2. Алгоритм решения**

Следует отметить, что представленная задача относится к классу задач распределения ресурсов в иерархических системах с активными элементами [1]. Для ее решения был разработан подход, основанный на методах распределения ресурсов в иерархических системах [2].

Для решения задачи математического программирования (1)-(8) разработан и внедрен двухуровневый итерационный алгоритм, в результате работы которого получают локально-оптимальные решения задачи минимизации стоимости для разветвленной газотранспортной системы, на основании которых инженеры по технологическому проектированию могут выработать приемлемые стратегии работы обобщенных элементов, то есть эффективные варианты модернизации с точки зрения минимума экономических затрат. После получения конечного ряда таких стратегий могут быть выбраны наиболее подходящие из них, с точки зрения политических или интуитивных решений.

Реализация алгоритма оптимизации режимов работы участков газотранспортной сети предполагает выбор оптимальных режимов функционирования отдельных элементов этой сети, представимых в виде «черных ящиков». Поскольку «черные ящики» описываются функциями, некоторые элементы поведения которых неизвестны, поиск оптимальных параметров на втором уровне алгоритма осуществляется с использованием хорошо распараллеливаемых схем перебора. Созданная диалоговая программная система поиска оптимальных режимов работы для участков газотранспортной системы была реализована с использованием компонента TPL (Task Parallel Library), входящего в состав платформы .NET 4.0 [3].

Схема работы программы на основе описанного алгоритма включает в себя формирование «подобластей интереса», содержащих локальные экстремумы в области параметров «черных ящиков». Данное предварительное исследование функций «черных ящиков» также целесообразно вести с применением многопоточных распараллеливаемых схем.

Для решения указанной задачи расчета оптимальных режимов газотранспортной системы было разработано диалоговое программное обеспечение, которое позволяет осуществлять интерактивное задание параметров и топологии газотранспортных систем и решение вышеописанной оптимизационной задачи.

Параллельная реализация алгоритма позволила осуществить решение поставленной задачи для реальной газотранспортной системы. Созданный программный продукт находится на стадии внедрения в ОАО «Гипрогазцентр».

## **Заключение**

Предложена эффективная многопоточная схема для решения задач расчета стационарных режимов функционирования газотранспортных систем, имеющих структуру многоуровневой иерархической системы, по критерию минимизации экономических затрат. Предложенная схема реализуется в рамках специализированного программного обеспечения, предназначенного для внедрения в практику групп технологического проектирования магистральных газопроводов.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Минобрнауки России (гос. соглашение о предоставлении гранта №14.В37.21.0878).

### **Литература**

1. Прилуцкий М.Х., Дикарев К.И. Оптимизационные задачи согласования параметров для участков газотранспортной системы // Системы управления и информационные технологии, 2011. Т. 45. № 3.1. С. 185-189.
2. Афраймович Л.Г., Прилуцкий М.Х. Многоиндексные задачи оптимального планирования производства // Автоматика и телемеханика, 2010. № 10. С. 148-155.
3. Троелсен Э. Язык программирования C# 2010 и платформа .NET 4.0, 5-е изд. : Пер. с англ. – М.: ООО «И.Д. Вильямс», 2011. – 1392 с.