

УДК 004.94

А.А. Чемерис, М.Ю. Савченко, С.А. Резникова

Институт проблем моделирования в энергетике им. Г.Е. Пухова НАН Украины, Киев

МОДЕЛИРОВАНИЕ УСТАНОВИВШИХСЯ РЕЖИМОВ СЕТЕВЫХ ОБЪЕКТОВ ЭНЕРГЕТИКИ НА ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ

В статье представлен подход к моделированию сетевых энергетических объектов в грид системах. Подход основан на представлении моделируемой сети нелинейными элементами, разделив ее на подобласти моделирования и распределении подобластей на узлы грид системы. Моделирование организовано как асинхронный итерационный процесс.

Ключевые слова: грид, моделирование, асинхронные итерационные методы, энергетическая сеть.

Введение

Современные сетевые трубопроводные системы, включающие теплофикационные и газовые сети, магистральные газо- и нефтепроводы, вентиляционные сети шахт и др., могут быть классифицированы как сложные системы энергетики, которые описываются системами нелинейных уравнений большой размерности. Задачи моделирования таких объектов относятся к классу многовариантных задач, решение которых необходимо получать, в частности, в реальном масштабе времени. Так, для задач диспетчерского управления, время решения определяется минутами. Для задач текущего и перспективного планирования условия по времени получения решения не являются жесткими, однако, сложность расчетов и их многовариантность обуславливают применение многопроцессорных вычислительных систем и соответствующих методов моделирования и параллельных алгоритмов их реализации.

Работа выполняется в рамках «Державної цільової науково-технічної програми впровадження і застосування грид-технологій на 2009 - 2013 роки», договор №200-13.

Объект моделирования

Используемый подход к моделированию сетевых объектов энергетики подробно рассмотрен в [1]. При этом рассматриваем класс задач моделирования установившихся режимов. В этом случае гидро- и газовые сетевые объекты описываются подобными системами уравнений

$$\begin{aligned} \sum_{m=1}^p Q_m &= 0, \\ \sum_{m=1}^s H_m &= 0, \\ H_m &= \alpha_m Q_m^n, \end{aligned} \quad (1)$$

где Q_m – поток m -й ветви, или входящий в данный узел или вытекающий из него; p – количество вет-

вей, сходящихся в узле; H_m – падение давления на m -ой ветви сети; s – количество участков, образующих контур; n – число, определяемое характером движения потока; для водопроводных, теплофикационных и вентиляционных сетей $n = 2$, для газовых сетей низкого давления это число лежит в диапазоне $n = 1,7-1,75$; α_m – гидродинамическое сопротивление m -й ветви.

Подход, описанный в [1], предполагает моделирование на основе электрической сети на основе принципов подобия. В этом случае система аналогий имеет вид

$$\begin{aligned} Q &= m_Q I, \\ H &= m_H U, \\ \alpha &= m_\alpha a. \end{aligned} \quad (2)$$

Здесь m_Q, m_H, m_α – масштабные коэффициенты по току, напряжению и сопротивлению, которые связаны между собой зависимостью

$$m_H = m_\alpha m_Q^n. \quad (3)$$

Подобная электрическая цепь образует математическую модель, где специфические узлы моделируются двухполюсниками, вольт-амперные характеристики которых совпадают по виду с соответствующими эксплуатационными характеристиками трубопровода. [1]. Пример сети и ее схемы замещения для проведения моделирования приведен на рис. 1.

При этом напряжения в узлах соответствуют давлению, а токи в ветвях – расходам газа. В точках 5, 6 и 7 производится постоянная подача газа, т.е. в этих узлах давления постоянны и соответствуют значениям P1-P3. Соответственно, в схеме замещения напряжения в точках 5, 6 и 7 есть константы, равные E2, E3 и E4 соответственно. В ветви 1-6 присутствует постоянная подкачка газа, которая в схеме замещения интерпретируется источником напряжения E1.

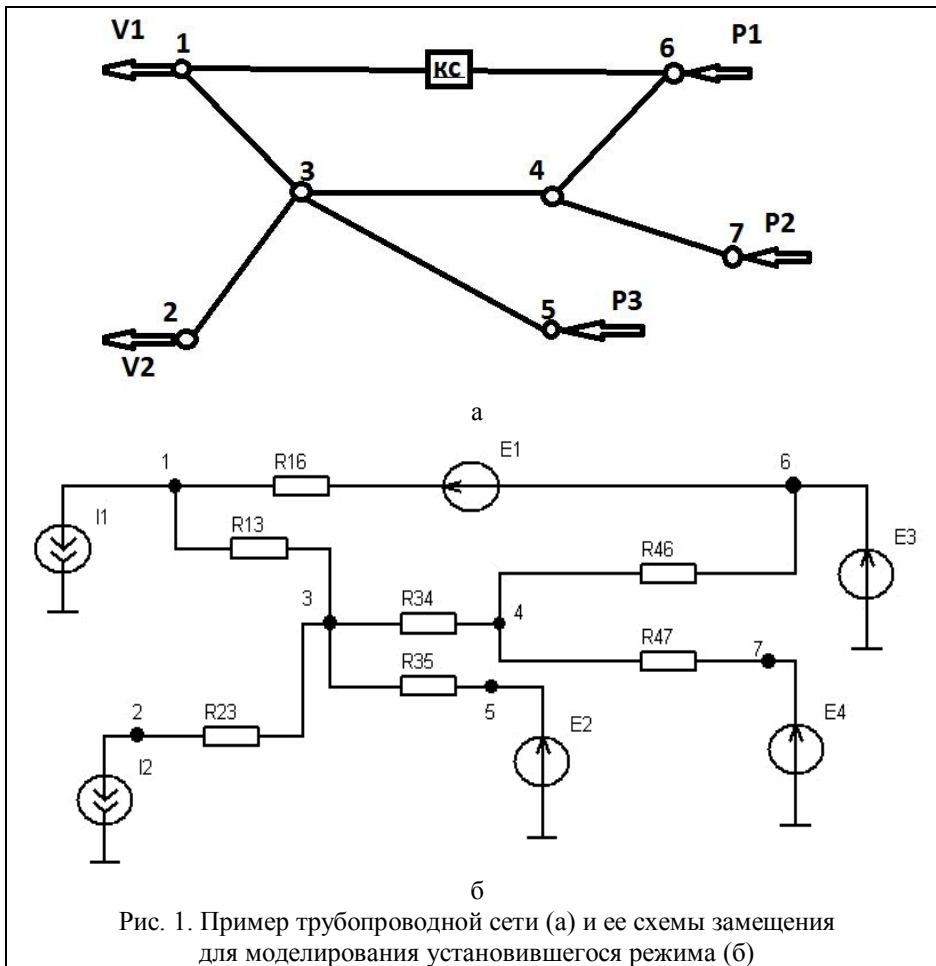


Рис. 1. Пример трубопроводной сети (а) и ее схемы замещения для моделирования установившегося режима (б)

В точках 1 и 2 производится отбор газа с постоянным расходом, который соответствует токам $I_1, I_2 = \text{const}$ в электрическом аналоге. R_1-R_5 – нелинейные двухполюсники, вольт-амперные характеристики которых определяются выражением

$$U_i - U_j = a_{ij} \cdot I_{ij}^n, \quad (4)$$

где U_i, U_j, I_{ij} – напряжение в узлах i и j и ток двухполюсника; a_{ij} – его сопротивление.

В частности, рассматриваемый подход был использован для построения специализированной вычислительной системы для моделирования сетевых объектов энергетики [2]. Данная система использовалась для задач диспетчерского управления транспортом газа. В настоящее время вычислительной мощности современных универсальных параллельных систем достаточно для моделирования очень сложных сетевых структур. В частности, эффективно использование грид систем, учитывая распределенный характер данных. Далее рассмотрим реализацию алгоритма моделирования на параллельной распределенной вычислительной системе.

Алгоритм моделирования сетевых объектов энергетики

Таким образом, объектом моделирования есть газотранспортная сеть, которая для моделирования

установившихся режимов может быть представлена схемой замещения на основе нелинейных двухполюсников. Электрическая схема двухполюсников реализована на основе квазирезисторов [1] и приведена на рис. 2.

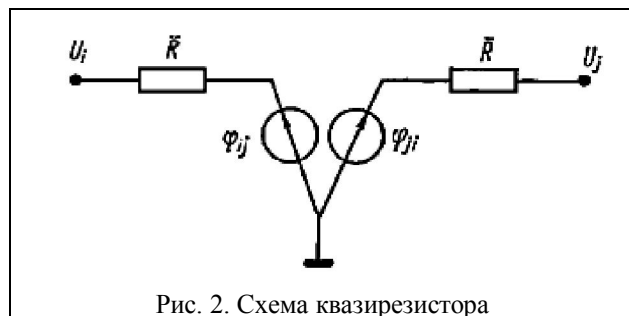


Рис. 2. Схема квазирезистора

Здесь φ_{ij} и φ_{ji} – уравнивающие воздействия, которые получены из условий эквивалентности вольт-амперной характеристики Т-образной схемы замещения и определяются выражениями (5) [2].

$$\varphi_{ij} = U_i - \bar{R} \text{sign}(U_i - U_j) \sqrt[n]{\frac{|U_i - U_j|}{a_{ij}}},$$

$$\varphi_{ji} = U_j - \bar{R} \text{sign}(U_j - U_i) \sqrt[n]{\frac{|U_j - U_i|}{a_{ij}}} \quad (5)$$

Напряжение узла U_s электрической цепи, в которую включены двухполюсники, представленными схемами замещения на рис. 2, определяется уравнением

$$d_s U_s - \sum_{i=1}^{d_s} \phi_{si} - \bar{R}I_s = 0 \quad (6)$$

где d_s – количество двухполюсников, подключенных к узлу с напряжением U_s , $\sum_{i=0}^{d_s} \phi_{si}$ – сумма уравновешивающих воздействий, вычисленных по формуле (5). Т.о. расчет установившегося режима в сети есть процесс итерационный, который последовательно просчитывает всю сеть от узла к узлу (листинг 1).

Алгоритм расчета сети.

Дано:

- 1) Топология сети как матрица сопротивлений $A=[a_{ij}]$ – матрица $n \times n$ с нулевой диагональю;
- 2) Узлы с постоянным давлением E – вектор размерностью n ;
- 3) Узлы с постоянным расходом I – вектор размерностью n ;
- 4) ϵ_{ps} – погрешность вычислений.

Определить напряжения в узлах и токи в ветвях.

Алгоритм.

1. Присвоить начальное приближение узловым напряжениям
2. $k=1$ – номер итерации
3. while(norma > eps)
 - (* Вычислить уравновешивающие воздействия *)
 - a. Цикл по $i=1..n$; $j=i+1..n$
 - b. если есть связь $i \rightarrow j$, то вычисляем уравновешивающие воздействия (8), используя значения U для $(k-1)$ итерации
 - c. конец цикла
 - (* Вычислить узловые напряжения *)
 - d. Цикл по $i=1..n$
 - e. Для узла i вычислить U_i из (6) (для итерации k)
 - f. Конец цикла
 - g. Вычислить норму вектора U

$$\text{norma} = \text{Max} |U^{(k-1)} - U^k|$$
 - h. $U^{(k-1)} = U^k$
 - i. $k=k+1$;
4. Конец цикла while
5. Вычислить токи в ветвях в соответствии (4)

$$I_{ij} = \sqrt{(U_i - U_j) / a_{ij}}$$

6. Конец.

Листинг 1. Алгоритм расчета сети

Реализация программ для вычислительного кластера

Для многопроцессорной вычислительной системы, в частности, грид, распараллеливание вычислений производится за счет разбиения моделируемой сети на подобласти. Каждая подобласть при этом моделируется параллельно с другими.

Каждая подобласть моделируется Алгоритмом 1. Для реализации многопроцессорной модели требуется обеспечить связь одной подобласти с другой. Это осуществляется дублированием данных узлов (узловых напряжений и токов) соседней подобласти, связанных с ветвями с моделируемой подобластью. Так для рис. 3 в подобласти 2 должны быть продублированы узлы подобластей 1 и 3, связанные ветвями с узлами подобласти 2.

Предполагаем, что каждая подобласть моделируется на своем узле грид. В этом случае требуется предусмотреть эффективное разбиение на подобласти моделируемой сети.

Основным принципом является минимизация связей при равномерности вычислительной нагрузки. Поскольку общее время моделирования подобласти в большей степени определяется вычислением уравновешивающих воздействий ветвей, то равномерность вычислительной нагрузки определяется приблизительным равенством числа ветвей в подобластях.

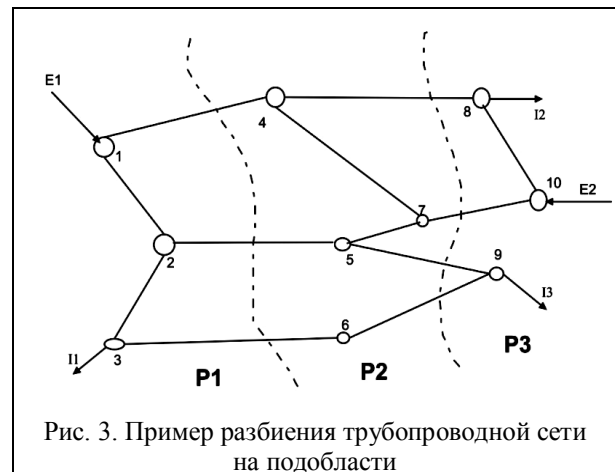


Рис. 3. Пример разбиения трубопроводной сети на подобласти

Таким образом, структурная схема программного комплекса моделирования установившихся режимов трубопроводной сети выглядит следующим образом (рис. 4).

Заключение

Учитывая сложность задачи и многократность расчетов, применение многопроцессорных вычислительных систем является актуальной задачей. Для ее решения требуется разработка как системных подходов к моделированию, так и параллельных средств моделирования.

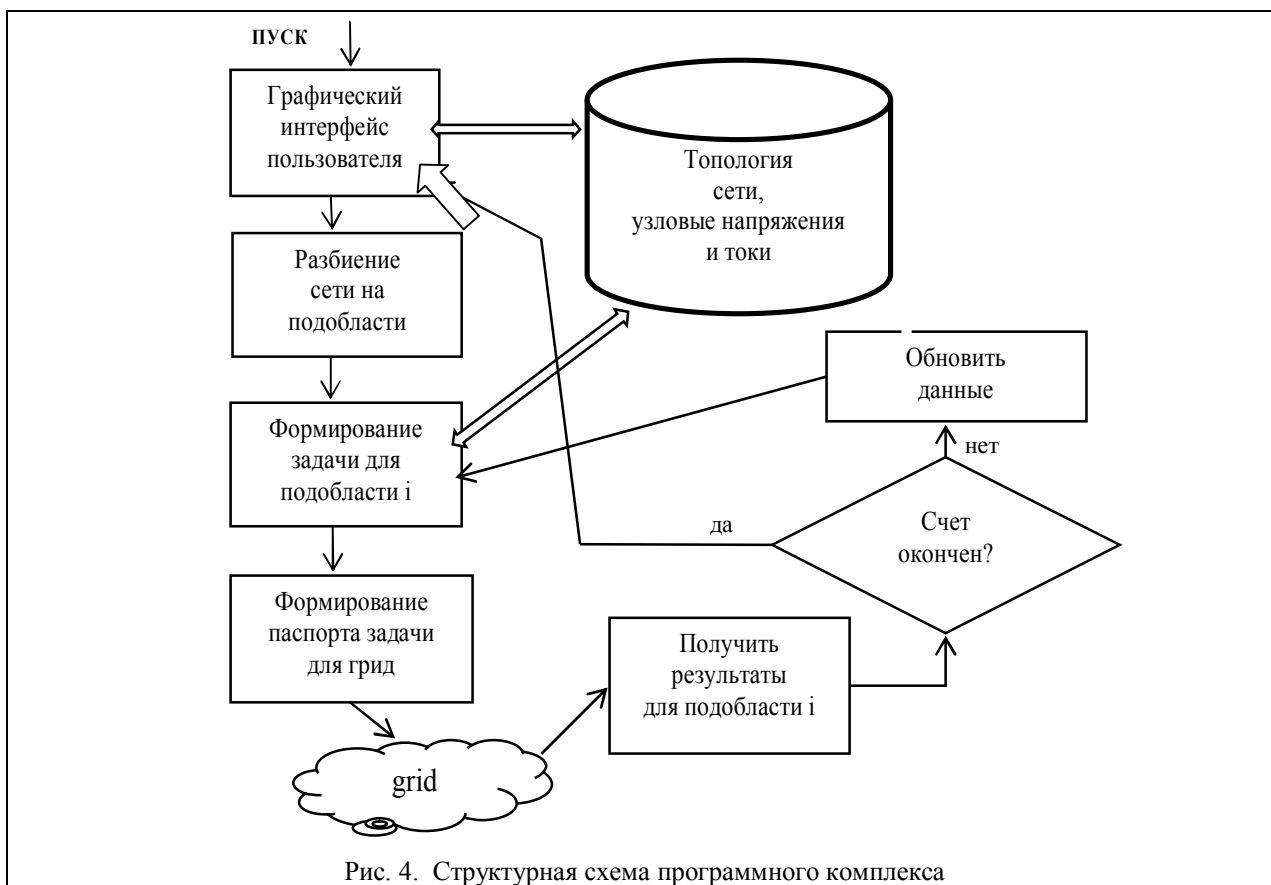


Рис. 4. Структурная схема программного комплекса

В данной статье рассмотрена программная система, основанная на методе замещения моделируемого сетевого объекта сетью нелинейных двухполусоединителей с аналогичной топологией [1]. При моделировании на многопроцессорной вычислительной системе, распараллеливание процесса моделирования происходит путем разбиения моделируемой сети на подобласти. Основными задачами при этом становятся:

- 1) организация передачи данных между моделируемыми подобластями;
- 2) оптимизация разбиения на подобласти путем минимизации обменов данными.

Приведена структурная схема программного комплекса, который ориентирован на использование грид как моделирующей среды.

Список литературы

1. Кулик М.Н. Методы системного анализа в энергетических исследованиях / М.Н. Кулик. – К.: Наук. думка, 1987. – 200 с.
2. Пухов Г.Е. Гибридное моделирование в энергетике / Г.Е. Пухов, М.Н. Кулик. – К.: Наукова думка, 2007. – 151 с.
3. Мазурчук В.С. Однородные многопроцессорные структуры для моделирования сетевых объектов энергетике / В.С. Мазурчук, М.Н. Кулик, В.Н. Белецкий, А.И. Стасюк // Электронное моделирование. – 1980. – № 6. – С. 63 – 72.

Поступила в редколлегию 3.07.2013

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С.М. Порошин, Национальный технический университет «ХПИ», Харьков.

МОДЕЛЮВАННЯ СТАЛОГО РЕЖИМУ МЕРЕЖЕВИХ ОБ'ЄКТІВ ЕНЕРГЕТИКИ НА ПАРАЛЕЛЬНИХ ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ СИСТЕМАХ

О.А. Чемерис, М.Ю. Савченко, С.О. Резникова

У статті представлений підхід до моделювання мережевих енергетичних об'єктів в грид системах. Підхід заснований на представленні мережі, що моделюється, нелінійними елементами, розділивши її на підобласті моделювання, і розподілі підобластей на вузли грид системи. Моделювання організовано як асинхронний ітераційний процес.

Ключові слова: грид, моделювання, асинхронні ітераційні методи, енергетична мережа

STEADY-STATE MODE SIMULATION OF ENERGY OBJECTS NETWORK WITH PARALLEL COMPUTING SYSTEMS

A.A. Chemeris, M.Yu. Savchenko, S.A. Reznikova

The paper presents an approach to modeling the network of energy objects in the grid. The approach is based on the representation of the modeled network by non-linear elements, splitting it into sub-areas of modeling and distribution of sub-areas to the grid system nodes. The simulation is organized as an asynchronous iterative process.

Keywords: grid, modeling, asynchronous iterative methods, energetic network.