

УДК 004.94

ПАРАЛЕЛЬНА РЕАЛІЗАЦІЯ МЕТОДУ РОЗРАХУНКУ
НЕСТАЦІОНАРНИХ РЕЖИМІВ В ЛІНІЙНІЙ ДІЛЯНЦІ
ТРУБОПРОВОДУ

М.Ю. Савченко, О.А. Чемерис

Інститут проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН
України

У статті наведено огляд алгоритму моделювання нестационарних режимів газопроводів, обґрунтовується використання паралельних та паралельних асинхронних ітераційних методів у поєднанні з вільно поширюваним програмним забезпеченням для задач лінійної алгебри, розглянуті особливості використання математичних бібліотек для виконання типових операцій.

Вступ. Транспортування енергоносіїв, зокрема природного газу, на сьогоднішній день є важливою задачею, яка вимагає активної координації діяльності багатьох держав. Магістральний газопровід (МГ) являє собою складну систему розгалужених лінійних ділянок (ЛД), компресорних станцій, цехів, газоперекачувальних агрегатів та газорозподільних станцій тощо.

Таким чином, надзвичайно важливою є задача моніторингу та управління процесами ГТС у масштабах країни, регіону, континенту. Одним із найбільш значущих факторів, який необхідно включати в систему моніторингу та управління, є наявність нестационарних режимів в МГ. Вони виникають під впливом багатьох різноманітних чинників, серед яких фігурують як часті планові технологічні операції, так і непередбачувані впливи типу аварійних відмов обладнання, руйнування лінійних ділянок, різка зміна атмосферної температури та ін. Кожен із подібних впливів може викликати досить довготривалий перехідний процес в МГ, ним охоплюється весь або значна частина МГ, його тривалість може скласти багато діб.

Була поставлена задача розробки ефективного алгоритму моделювання нестационарних режимів в ЛД трубопроводу.

Модель та її реалізація. Методологічною основою моделювання задач газової динаміки в трубопроводах є рівняння Нав’є-Стокса [3]. Неізотермічний рух газу в кожному трубопроводі ЛД описується системою із трьох нелінійних рівнянь в частинних похідних (1) – (3) [2], де ρ , v , P , T – густина, швидкість руху і

температура газу відповідно; t , x – часова і просторова координати; λ – коефіцієнт гідравлічного тиску; D – діаметр труби; K – коефіцієнт теплопередачі від труби до ґрунту; T_{gp} – температура ґрунту; h – висота (глибина) залягання труби; E – повна енергія одиниці маси.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\rho v) = 0; \quad (1)$$

$$\frac{\partial(\rho v)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(P + \rho v^2) = -\rho \left(\frac{\lambda v |v|}{2D} + g \frac{dh}{dx} \right); \quad (2)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho E) + \frac{\partial}{\partial x} \rho v \left(E + \frac{P}{\rho} \right) = \frac{4K(T_{gp} - T)}{D} - \rho v g \frac{dh}{dx}. \quad (3)$$

В системі рівнянь (1) – (3) містяться чотири невідомі (густина, швидкість, тиск і температура), для її замкнення додається рівняння стану газу (4), де g – прискорення вільного падіння; R – універсальна газова стала

$$P = g \rho z R T. \quad (4)$$

Параметри, необхідні для включення в алгоритм: діаметр трубопроводу, коефіцієнти гідравлічного опору та теплопередачі від труби до ґрунту, температура ґрунту та інші. Шуканими параметрами є питомі витрати газу, тиск та температура газу.

Для системного аналізу перехідних процесів в ГТС необхідно виконати алгебраїзацію рівнянь трубопроводів. Одним із прийомів алгебраїзації диференціальних рівнянь в частинних похідних є апроксимація похідних кінцевими алгебраїчними різницями. Для апроксимації змінних для їх обчислення використовуються значення змінних в поточний момент часу, тобто ті значення, які необхідно визначити. При такій апроксимації всі змінні об’єднуються в систему алгебраїчних рівнянь, обчислити їх можна лише шляхом розв’язання цієї системи.

Використовуючи викладки, наведені в роботі [2], перетворимо систему рівнянь (1) – (4) до лінеаризованого вигляду (5)

$$\left[\frac{\partial \varphi}{\partial W} \right]_0^{k,s-1} \delta W_0^{k,s} \frac{1}{\Delta} B_0^{k,s-1} \delta W_1^{k,s} = \varphi_0^{k,s-1},$$

$$-\frac{1}{2\Delta} B_1^{k,s-1} \delta W_0^{k,s} + \left[\frac{\partial \varphi}{\partial W} \right]_1^{k,s-1} \delta W_1^{k,s} + \frac{1}{2\Delta} B_1^{k,s-1} \delta W_2^{k,s} = \varphi_1^{k,s-1},$$

Розглянемо загальний вигляд алгоритму:

1. Виконати підготовчі обчислення.
2. Обчислити вектор нев’язок для всіх точок.
3. Підготувати елементи матриці Якобі.
4. Скласти матрицю Якобі і систему рівнянь.
5. Знайти розв’язок системи рівнянь.
6. Обчислити нові значення невідомих на поточній ітерації.
7. Продовжити обчислення, повернувшись до кроку 2.

Наведений алгоритм оснований на циклах, що базуються на дискретизації по часу та по довжині ЛД трубопроводу. Перший цикл – глобальний, охоплює собою всі етапи, починаючи з підготовчих обчислень і до знаходження невідомих шуканих величин. Другий – виконується окремо на кожному з етапів алгоритму, так як кожен з етапів в якості вхідних даних використовує значення параметрів для всіх точок по довжині, які отримані на попередніх етапах. Третій цикл – це ітераційний процес, на кожному кроці якого відбувається перевірка значень шуканих змінних питомих витрат газу, тиску та температури газу, а також вектору приросту невідомих величин. Після того, як цей вектор буде менше наперед заданої константи (точності обчислення), алгоритм завершує свою роботу.

Зупинимось на деяких особливостях алгоритму більш докладно. Більшість проміжних обчислень алгоритму є операціями з векторами та матрицями, тому для спрощення проектування і підвищення ефективності для таких операцій було вирішено використовувати типові підпрограми та функції пакетів і бібліотек лінійної алгебри (BLAS, ATLAS, LAPACK [4,5,6]), зокрема, *dgemv*, *daxpy*, *dgemt* (з пакету BLAS).

Для розв’язання системи рівнянь використовується підпрограма пакету LAPACK – *DGBSV*, яка обчислює розв’язок системи дійсних лінійних рівнянь виду $A * X = B$, де A , B , C – матриці (вектори).

Варто зазначити, що пакет LAPACK використовує масиви, орієнтовані на стовпці, а не на рядки, тому необхідно виконати конвертацію виду $AT[i][j] = A[j][i]$, де A , AT – відповідно, початковий та конвертований масиви; i, j – позиції елемента в масиві.

Використання послідовних алгоритмів є неефективним з точки зору трудомісткості обчислень, тому для розв’язання задачі був створений паралельний алгоритм з використанням інтерфейсу передачі повідомлень MPI [1] та паралельної бібліотеки ScaLAPACK [5]. На рис. 2 наведені результати виконання цього алгоритму на 8-ядерному вузлі кластеру ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України.

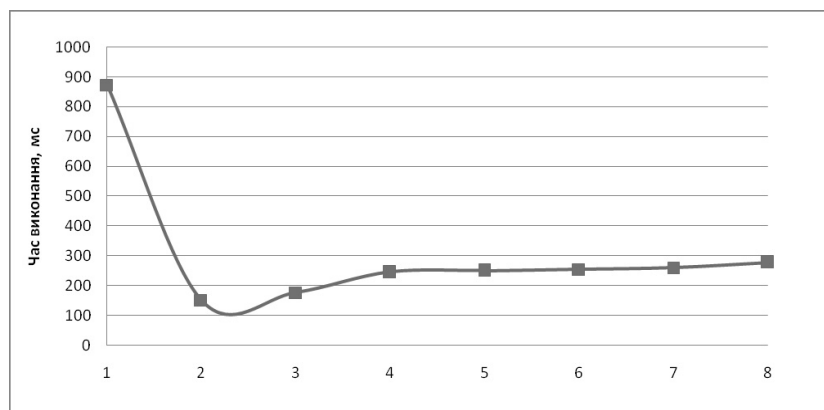


Рисунок 2 – Результати моделювання (вісь x – кількість процесорів)

Подальше дослідження даної проблеми відбувається з акцентом на використання асинхронних ітераційних алгоритмів для їх виконання на багатопроцесорних обчислювальних кластерах та в глобальних Grid-системах.

Висновки. Розглянутий загальний вигляд алгоритму розрахунку нестационарних режимів в ЛД трубопроводу. Для його реалізації були використані засоби роботи з векторно-матричними даними пакетів лінійної алгебри, а також їх паралельні версії. Подальшу розробку і вдосконалення алгоритму планується виконувати з акцентом на паралельне асинхронне виконання для підвищення ефективності розрахунку нестационарних режимів в МГ.

Результати досліджень, що проводяться, мають бути затребувані при впровадженні єдиної системи моніторингу та управління ГТС.

Список літератури

1. В.П. Гергель, Р.Г. Стронгин, Основы параллельных вычислений для многопроцессорных вычислительных систем. Учебное пособие – Нижний Новгород: Изд-во ННГУ им. Н.И. Лобачевского, 2003. 184 с.
2. Кулик М.Н. Методы системного анализа в энергетических исследованиях / – Киев : Наук. Думка, 1987. – 200 с.
3. Г. Шлихтинг, Теория пограничного слоя, – Москва: Наука, 1974. – 712 с.
4. BLAS (Basic Linear Algebra Subprograms), Інтернет-ресурс. – Режим доступу : [www/URL: http://www.netlib.org/blas/](http://www.netlib.org/blas/).
5. Jack Dongarra, Freely available software for linear algebra on the WEB (April 2009), Інтернет-ресурс. – Режим доступу: [www/URL: http://www.netlib.org/utk/people/JackDongarra/la-sw.html](http://www.netlib.org/utk/people/JackDongarra/la-sw.html)
6. E. Anderson, Z. Bai, C. Bischof and others, LAPACK Users' Guide Third Edition, 1999, Інтернет-ресурс. – Режим доступу: [www/URL: http://www.netlib.org/lapack/lug/](http://www.netlib.org/lapack/lug/).

Получено 13.05.2011