

ОСОБЛИВОСТІ ПРОГРАМНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ МЕТОДУ РОЗРАХУНКУ НЕСТАЦІОНАРНИХ РЕЖИМІВ В ЛІНІЙНІЙ ДІЛЯНЦІ ТРУБОПРОВОДУ

Савченко М.Ю., Чемерис О.А., Петрущенко Д.П.

Інститут проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України,
Національний технічний університет України «Київський Політехнічний Інститут»
E-mail: maxvell.ua@gmail.com

Анотація

Савченко М.Ю., Чемерис О.А., Петрущенко Д.П. Особливості програмної реалізації методу розрахунку нестационарних режимів в лінійній ділянці трубопроводу. У цій статті наведено огляд алгоритму, який використовується для моделювання нестационарних режимів газопроводів, обґрунтовується використання паралельних асинхронних ітераційних методів у поєднанні з вільно поширюваним програмним забезпеченням для задач лінійної алгебри, розглянуті особливості використання функцій пакетів лінійної алгебри для виконання операцій з матричними та векторними структурами даних.

Загальна постановка проблеми

Транспортування енергоносіїв, зокрема природного газу, на сьогоднішній день є важливою задачею, яка вимагає активної координації діяльності багатьох держав. Україна є великою транзитною країною, територією якої пролягають більшість магістральних газопроводів (МГ) з Російської Федерації в країни Центральної та Західної Європи.

Газотранспортна система (ГТС) України включає близько 37 тис. кілометрів газопроводів, з яких 22 тис. кілометрів – мають магістральний статус. Пропускна здатність ГТС України на вході складає 288 млрд. куб. м на рік, та 178 млрд. куб. м на виході. Кожен газопровід являє собою складну систему розгалужених трубопроводів, лінійних ділянок, 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.

Нестационарні режими в МГ виникають під впливом багатьох різноманітних чинників, серед яких фігурують як різні планові технологічні операції (ввімкнення та вимкнення обладнання компресорних станцій, зміна режимів його роботи, зміна конфігурації лінійних ділянок і т.д.), 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, в залежності від критеріїв і методів управління його протіканням ним охоплюється весь або значна частина МГ, його тривалість може скласти багато діб. У зв'язку з цим нестационарні режими в МГ спостерігаються досить часто, робота в нештатних ситуаціях є одним із основних умов управління функціонуванням МГ та їх об'єднань.

Тому була поставлена задача розробки ефективного алгоритму моделювання і розрахунку нестационарних режимів в лінійній ділянці трубопроводу.

Дослідження

На сьогоднішній день для моделювання нестационарних режимів МГ

використовуються багато математичних моделей, але всі вони базуються на системі рівнянь Нав'є-Стокса [2,3].

Типова схема лінійної ділянки газопроводу наведена на рис. 1, де h – глибина залягання; L – довжина ділянки, що моделюється; x – крок дискретизації по довжині трубопроводу; D – діаметр трубопроводу

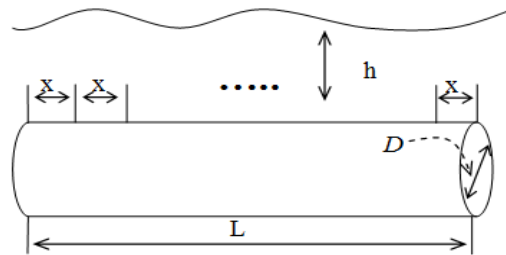


Рис. 1. Типова лінійна ділянка газопроводу

Решта параметрів, необхідних для моделювання і розрахунку нестационарних режимів в МГ: питомі витрати газу, тиск, температура, коефіцієнти гідравлічного опору та теплопередачі від труби до ґрунту, температура ґрунту та інші. Варто зазначити, що ступінь стискання газу також впливає на розрахунок.

Шуканими параметрами є питомі витрати газу, тиск та температура газу.

Розрахунок необхідно проводити з дискретизацією по часу та довжині трубопроводу.

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 системи, загальний вигляд якої показаний на рис. 2, де N – число точок; n – номер конкретної точки по довжині трубопроводу. Таким чином бачимо, що кількість рівнянь в системі дорівнює N , а кількість ненульових діагоналей – 11.

Розглянемо загальний вигляд алгоритму розрахунку нестационарних режимів в лінійній ділянці трубопроводу:

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. Вирішити систему рівнянь.
6. Обчислити нові значення невідомих на поточній ітерації.
7. Продовжити обчислення, повернувшись до кроку 2.

Наведений алгоритм оснований на основних циклах, що базуються на дискретизації по часу та по довжині лінійної ділянки 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 з кроків 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.

Слід зауважити, що обчислення, які виконуються в програмі, носять досить

нетривіальний характер. Тому зупинимось на деяких особливостях алгоритму більш докладно.

$\frac{\partial \phi_0}{\partial W_0}$	$\frac{1}{x} B_0$														δW_0	ϕ_0
$-\frac{1}{2x} B_1$	$\frac{\partial \phi_1}{\partial W_1}$	$\frac{1}{2x} B_1$													δW_1	ϕ_1

	$-\frac{1}{2x} B_n$	$\frac{\partial \phi_n}{\partial W_n}$	$\frac{1}{2x} B_n$												δW_n	ϕ_n
	
		$-\frac{1}{2x} B_{N-1}$	$\frac{\partial \phi_{N-1}}{\partial W_{N-1}}$	$\frac{1}{2x} B_{N-1}$											δW_{N-1}	ϕ_{N-1}
															δW_N	ϕ_N

Рис. 2. Загальний вигляд системи алгебраїчних рівнянь, отриманої після перетворення рівнянь трубопроводів

Більшість проміжних обчислень алгоритму є операціями з векторами та матрицями, тому для спрощення проектування і підвищення ефективності для таких операцій було вирішено використовувати типові функції пакетів лінійної алгебри (BLAS, ATLAS, LAPACK [4,6,8]), зокрема, *dgemv*, *daxpy*, *dgemm* (з пакету BLAS), які виконують операції згідно формул, відповідно, (1), (2), (3)), де x, y – вектори; A, B, C – матриці; α, β – дійсні коефіцієнти; m, n – кількість рядків та стовпців матриць A і C .

$$y \leftarrow \alpha Ax + \beta y, A - m \times n; \tag{1}$$

$$y \leftarrow \alpha x + y; \tag{2}$$

$$C \leftarrow \alpha AB + \beta C, C - m \times n; \tag{3}$$

Формула (1) відноситься до 2 рівня BLAS (операції виду матриця-вектор), (1) – до першого рівня (вектор-вектор), (3) – до третього рівня (матриця-матриця).

Як уже згадувалось вище, на кроці 5 алгоритму розв’язується система рівнянь. Для цього використовується наступна функція пакету LAPACK – *DGBSV*, яка обчислює розв’язок системи дійсних лінійних рівнянь виду (4), де A – матриця коефіцієнтів при невідомих; B – матриця (вектор) правої частини системи рівнянь; X – матриця (вектор) невідомих.

$$A * X = B; \tag{4}$$

Варто зазначити, що пакет LAPACK використовує масиви, орієнтовані на стовпці (column-major layout), а не на рядки, як прийнято в більшості мов програмування високого рівня, зокрема в C/C++. Тому необхідно виконати конвертацію виду (5), де A , AT – відповідно, початковий та конвертований (орієнтований на стовпці) масиви; i, j – цілі числа, що відображають позицію елемента в масиві.

$$AT[i][j] = A[j][i]; \quad (5)$$

Розв'язання системи рівнянь виду (4), структура якої показана на рис. 2, послідовним способом на однопроцесорних обчислювальних системах із використанням звичайних послідовних алгоритмів є неефективним з точки зору трудомісткості обчислень, через що для розв'язання задачі планується розробити паралельний асинхронний ітераційний алгоритм [1]. Тому дослідження даної проблеми відбувається з акцентом на використання ітераційних алгоритмів для виконання їх на багатопроцесорних обчислювальних кластерах та в глобальних Grid-мережах.

До того ж, при використанні відомих методів і пакетів лінійної алгебри для вирішення системи рівнянь (крок 5 наведеного вище алгоритму) в поєднанні з технологією паралельного програмування, основою на інтерфейсі передачі повідомлень MPI [5,7], очікується ефективний результат виконання програми розрахунку нестационарних режимів.

Висновки

Розглянутий загальний вигляд алгоритму розрахунку нестационарних режимів в лінійних ділянках трубопроводу. Для його реалізації були використані функції роботи з векторно-матричними даними пакетів лінійної алгебри. Подальшу розробку і вдосконалення алгоритму планується виконувати з акцентом на паралельне виконання, використовуючи асинхронність обчислень для підвищення ефективності розрахунку нестационарних режимів в МГ.

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

Література

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. Офіційний сайт розробників пакету GotoBLAS, Інтернет-ресурс. – Режим доступу : [www/URL: http://www.tacc.utexas.edu/resources/software/#blas](http://www.tacc.utexas.edu/resources/software/#blas).
5. Форум розробників MPI, Інтернет-ресурс. – Режим доступу : [www/URL: http://www.mpi-forum.org/](http://www.mpi-forum.org/).
6. 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)
7. Уильям Гропп, Эвинг Ласк, Руководство по инсталляции mpich, переносимой реализации MPI, версии 1.2.2, Інтернет-ресурс. – Режим доступу: [www/URL: http://docstore.mik.ua/manuals/ru/mpich_guide/mpich_install_site/main.html](http://docstore.mik.ua/manuals/ru/mpich_guide/mpich_install_site/main.html).

8. E. Anderson, Z. Bai, C. Bischof and others, LAPACK Users' Guide Third Edition, 1999,
Интернет-ресурс. – Режим доступа: [www/URL: http://www.netlib.org/lapack/lug/](http://www.netlib.org/lapack/lug/).