

## До побудови системи моделювання й оптимізації процесів транспортування природного газу

Василь Чекурін

Д. ф.-м. н., професор, Інститут прикладних проблем механіки і математики ім. Я. С. Підстригача НАН України

*У практиці керування газотранспортними системами часто виникає потреба в моделюванні процесів перенесення маси, імпульсу та енергії в крупномасштабних трубопровідних мережах. Прямі й обернені задачі, які при цьому виникають, приводять до числових моделей великої розмірності, що обумовлено нелінійністю цих задач і масштабами мережі. На основі результатів симуляції таких моделей можна оцінювати наслідки від вчинення тих чи інших дій, розробляти тактику і стратегію керування цим складним інженерним об'єктом. Для цього необхідні спеціальні програмні засоби, що виконують різні функції — здійснюють у реальному часі числову реалізацію обчислювальних задач великої розмірності та надають користувачам засоби для підтримки формування таких задач, маніпулювання великими масивами різномірної інформації та вироблення управлінських рішень. У статті розглядаються деякі підходи до створення такої програмної системи, оговорюються її структура та парадигма функціонування.*

**Ключові слова:** інформаційно-аналітична система, модель програмної системи, симуляція, газодинамічні процеси.

**Вступ.** Газотранспортна система України (ГТС) є складним глобальним інженерно-технічним об'єктом, призначеним для керованого перерозподілу природного газу від місць видобування (родовищ) до місць споживання. Ця система покриває практично усю територію держави й має декілька вхідних пунктів, у яких газ поступає в систему ззовні, та декілька виходів, з яких його відбирають із ГТС назовні.

Щоб ефективно керувати подібними об'єктами доцільно використовувати спеціалізовані інформаційно-аналітичні системи (ІАС) для моделювання й оптимізації режимів їх роботи. Науково-дослідні та проектно-конструкторські роботи, спрямовані на створення ІАС для прогнозування та керування режимами експлуатації ГТС, проводять практично усі країни, що утворюють клуб власників таких споруд — США, Росія, Франція, ФРН. Проте з аналізу публікацій випливає, що поки-що система, яка б відповідала необхідним вимогам щодо точності розрахунків і швидкодії при аналізі й оптимізації нестационарних режимів роботи ГТС, ще не створена ні в Україні, ні в інших державах. Зокрема, широко відома система SIMONE, призначена для моделювання й оптимізації процесів транспортування та розподілу газу трубопровідними мережами. Математичний апарат [1, 2], закладений в основу симуляційної моделі динаміки газу, що застосована в цій системі, розроблено з використанням наближених інженерних підходів і не враховує,

як досягнень останніх десятиріч у галузі обчислювальної математики, так і можливостей сучасної обчислювальної техніки та новітніх технологій програмування.

Тому і досі залишається актуальною проблема розроблення та використання сучасних технологій проектування та програмування парадигми створення складних програмних систем для симуляції й оптимізації режимів функціонування ГТС і керування її роботою.

## 1. Структура ІАС та парадигма її функціонування

ІАС призначена для аналізу й оптимізації режимів експлуатації ГТС, а також підтримки прийняття управлінських рішень. Система функціонує в мережі типу Intranet. Її користувачами можуть бути диспетчери, експлуатаційний і ремонтний персонал, а також керівники усіх рівнів технологічної й організаційно-управлінської структур ГТС. Користувачам ІАС надані права доступу до системи відповідно до їх статусу в структурах ГТС. Доступ здійснюється через робочі станції, які розташовані у відповідних технологічних та управлінських структурах ГТС. Система надає можливості реєстрації на будь-якому з терміналів, визначених для користувачів цієї групи.

ІАС виконує наступні завдання:

- підтримка діалогу з різними групами користувачів;
- доступ до даних системи телеметричної інформації (SCADA);
- розв'язування задач моделювання технологічних режимів;
- розв'язування задач оптимізації технологічних режимів та оптимального керування роботою ГТС;
- розв'язування задач ідентифікації параметрів математичної моделі на основі даних вимірювань;
- підтримка внутрішніх баз даних;
- формування та підтримка бази знань системи.

ІАС функціонально об'єднує декілька складових (рис. 1): інтерфейс користувача (ІК), система безпеки (СБ), сервісна оболонка (СО), математична бібліотека (МБ), засоби компіляції (ЗК), проекти середовищ симуляції (ПСС), середовища симуляції (СС), внутрішні бази даних системи (БД), база знань системи (БЗ).

ІК забезпечує взаємодію усіх груп користувачів із системою при локальному та віддаленому доступі. Він може функціонувати в режимах командної стрічки та графічному меню-орієнтованому. При завантаженні система адаптує свій інтерфейс під користувача, якого вона зареєструвала. Завдяки цьому користувачеві доступна лише множина функцій системи, визначена для групи, до якої він належить. Меню ІК містять команди доступу лише до

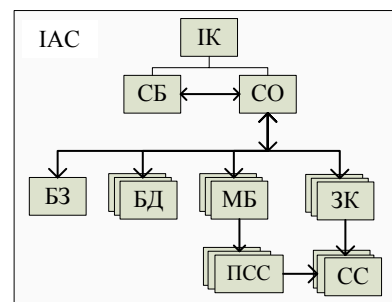


Рис. 1. Функціональний склад ІАС

цих функцій, а звернення користувача через командний рядок до функцій, які не передбачені для користувачів даної групи, система ігнорує.

СБ охоплює два рівні — системний та функціональний. На системному рівні задіяні усі засоби, передбачені операційною системою, в середовищі якої функціонує ІАС, — аутентифікація, авторизація, аудит тощо. На функціональному рівні система здійснює реєстрацію в спеціальному журналі аудиту подій, важливих для функціонування ІАС, а також контролює дії користувача, вчинення яких може створити критичну ситуацію для функціонування самої ІАС чи ГТС. Перелік таких дій встановлює головний адміністратор системи. Цю властивість система реалізує, залежно від події, двома способами:

- пропонує попередньо провести моделювання засобами ІАС наслідків, які виникнуть у системі чи ГТС при вчиненні запланованих дій;
- пропонує отримати дозвіл на вчинення цих дій у адміністратора ІАС або керівництва ГТС.

У першому випадку, при згоді користувача, система передає управління сервісній оболонці для автоматичного формулювання відповідної задачі та запуску її на виконання. У другому випадку система ініціює процес отримання відповідної санкції за системою електронного підпису.

МБ містить набір об'єктів з програмними реалізаціями числових алгоритмів, необхідних для розв'язування задач моделювання й оптимізації технологічних режимів ГТС і оптимального керування її роботою, а також для обробки даних вимірювання та результатів розрахунку, відображення їх на графічних пристроях.

СО призначена для керування роботою ІАС. Вона взаємодіє з операційною системою комп'ютера, інтерфейсом користувача, внутрішніми базами даних і базою знань, SCADA-системою, математичним ядром, другим рівнем системи безпеки. Функції сервісної оболонки:

- підтримка інформаційних процесів у системі;
- підтримка процесу формулювання задач і побудови алгоритмів їх реалізації;
- монтаж проекту середовища симуляції;
- керування процесом компіляції середовища симуляції та його виконанням;
- опрацювання переривань, які надходять від інтерфейсу користувача, системи безпеки другого рівня та задач, що виконуються.

До складу сервісної оболонки входять засоби обміну інформацією між робочими станціями ІАС, інсталюваними в мережі ГТС, графічний редактор, редактор текстів. Графічний редактор призначений для побудови технологічних і розрахункових схем, а також для формування алгоритмів розв'язування задач. Він відображає технологічні та розрахункові схеми у вигляді векторної графіки. Для побудови цих схем використовують різні набори геометричних примітивів. Редактор текстів призначений для створення текстових документів, у якому передбачена можливість вставлення таблиць і растрової графіки.

Система провадить такі бази даних:

- телеметричної інформації,
- фізичних властивостей газів,

- технологічних схем,
- задач,
- розрахункових схем,
- результатів симуляції.

База даних фізичних властивостей газу містить дані про фізичні властивості природних газів. Ці дані необхідні для встановлення фізичних співвідношень моделі газової динаміки — рівнянь стану, а також залежностей коефіцієнтів теплоємності, теплопровідності та в'язкості газу від температури, тиску та складу газової суміші. Крім того у цій базі нагромаджені дані про склад природного газу різних родовищ (масовий вміст різних компонент газової суміші) та фізичні властивості цих сумішей.

База даних технологічних схем містить усю інформацію щодо топології та геометрії ГТС, геодезичні дані, розподіли температури довкілля вздовж ниток трубопроводів у різні сезони, теплофізичні властивості ґрунтів, технічні характеристики усіх елементів технологічної схеми (трубопроводів, запірної арматури, газоперекачувальних агрегатів тощо), які необхідні для обчислення фізичних параметрів математичних моделей відповідних елементів.

Бази даних розрахункових схем та результатів симуляції формують у процесі експлуатації системи. Запровадження першої з них дозволяє уникнути необхідності повторної генерації розрахункової схеми, що вже розглядалася, і сформулювати для неї задачу з іншими вхідними даними. У базі даних результатів накопичуються результати проведених розрахунків. Ці дані використовують для формування вхідних даних для інших задач, співставлення з результатами, отриманими іншими методами, та з даними вимірювань тощо. Ці дві бази даних система використовує для формування своєї бази знань.

База даних телеметричної інформації містить об'єктивні дані, отримані зі SCADA-системи й інших джерел інформації про зміни в часі витрат, тисків і температури на входах і виходах ГТС, компресорних станцій та інших точках технологічної схеми. Дані у цій базі система нагромаджує шляхом імпорту їх зі SCADA-системи чи з зовнішніх носіїв інформації. Ці дані використовують для формування задач ідентифікації параметрів математичних моделей, порівняння результатів розрахунку з даними вимірювань, а також для створення імітаційних і статистичних моделей газорозподілу.

Базу знань система формує на основі результатів моделювання та даних вимірювань. Для створення бази знань використано формалізовані описи керуючих дій, вчинених операторами ГТС, та їх наслідків із точки зору безпеки й ефективності експлуатації ГТС, а також дотримання заданих планів постачання газу споживачам.

Внутрішні бази даних і знань встановлені на відповідних централізованих серверах. Доступ до них із робочих станцій відбувається за технологією клієнт-сервер.

Програмне забезпечення робочих станцій інсталиують на комп'ютерах внутрішньої мережі ГТС. Воно складається із трьох компонентів:

- автоматизованого робочого місця (АРМ), яке містить:
  - інтерфейс користувача,
  - систему безпеки,
  - сервісну оболонку,
  - засоби доступу до баз даних і знань;
- математичної бібліотеки;
- засобів компіляції програм.

АРМ є програмним середовищем спеціаліста (диспетчера, технолога тощо) чи керівника ГТС і дозволяє, зокрема, реалізувати наступні завдання:

- здійснювати віддалений доступ до всіх внутрішніх баз даних, бази знань ІАС, даних SCADA-системи й інших доступних у мережі джерел інформації;
- здійснювати обробку та порівняльний аналіз даних, отриманих із будь-яких доступних джерел;
- відображати інформацію на екрані й інших графічних пристроях у табличному та графічному виглядах;
- створювати документи з використанням табличних і графічних даних.

Налаштування АРМ під конкретного користувача відбувається на стадії його завантаження згідно з правами робочої групи, до якої належить особа, яка пройшла аутентифікацію. Окрім того, АРМ дозволяє реалізувати усі без обмежень функції сервісної оболонки, яка входить до її складу, зокрема, — підтримку зв'язку й обміну даними в мережі ГТС, формування розрахункової моделі, вибір математичних моделей її складових, формування вхідних даних задачі та симуляційної моделі для цієї задачі, монтування обчислювального середовища з об'єктів математичної бібліотеки.

Об'єкти математичної бібліотеки представлені у виглядах:

- вихідних програм, написаних мовою програмування високого рівня (наприклад Visual C++),
- відкомпільованих модулів (наприклад, \*.obj),
- бібліотек динамічного лінкування (наприклад, \*.dll).

Сервісна оболонка монтує, відповідно до сформульованої задачі, проект середовища симуляції та зберігає його на дискових носіях, а відтак передає на компіляцію. Після успішного завершення компіляції сервісна оболонка передає отриманий програмний код операційній системі для виконання. Можливі такі варіанти виконання сформованого коду середовища симуляції:

- у пам'яті робочої станції, на якій встановлено АРМ;
- на спеціалізованій обчислювальній платформі, оптимізованій для реалізації математичних задач великої розмірності;
- на групі спеціалізованих обчислювальних платформ (СОП).

У процесі симуляції задачі сервісна оболонка функціонує паралельно з обчислювальним середовищем. Вона приймає від нього переривання та передає в операційну систему платформи обчислювального середовища ініційовані користувачем переривання на припинення його подальшого виконання (остаточно або

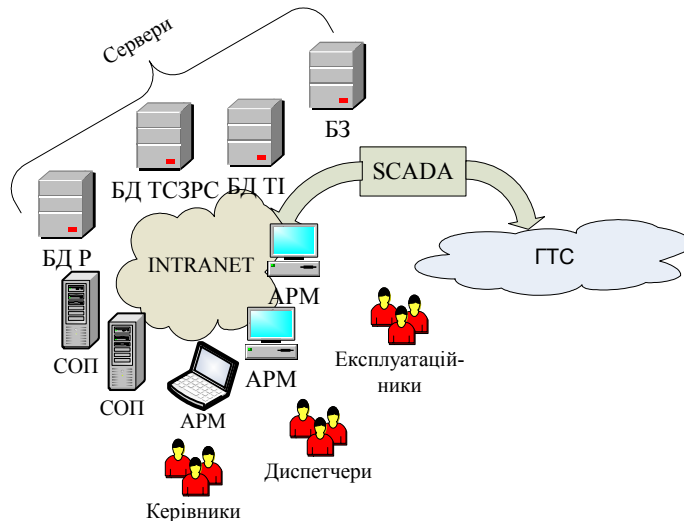


Рис 2. Мережева структура ІАС

тимчасово). Результати симуляції система зберігає на дисках робочої станції, з якої ця задача була запущена або в базі даних результатів симуляції.

Мережеву структуру ІАС показано на рис. 2. Вона включає в себе автоматизовані робочі місця (АРМ) для користувачів різних груп, сервери баз даних телеметричної інформації (ТІ), технологічних схем, задач і розрахункових схем (ТСЗРС), результатів розрахунку, а також спеціалізовані обчислювальні платформи (СОП).

## 2. Ієрархія моделей ГТС

Розглядатимемо ГТС як сукупність двох складових, які взаємодіють між собою, обмінюючись імпульсом енергією та масою:

- споруд (технологічного обладнання) ГТС — усіх її технологічних об'єктів, які забезпечують транспортування й накопичення газу,
- газу ГТС — нагромадженого в ній товарного та технологічного газу.

Серед споруд ГТС є об'єкти різних типів, зокрема: лінійні споруди, компресорні станції, газорозподільні станції, підземні сховища газу. До лінійних споруд відносять такі елементи: магістральні трубопроводи, переходи, перемички, запірну арматуру, вузли редукування тиску, вузли очищення газу. Кожен із елементів ГТС характеризують певним набором експлуатаційних параметрів, який визначає вплив цього елемента на термодинамічні та гідродинамічні параметри транспортованого газу. Наприклад, для трубопроводу такими параметрами є діаметр труби, шорсткість її внутрішньої поверхні, висота над рівнем моря, радіус заокруглення нитки трубопроводу, коефіцієнт теплообміну газу з довкіллям через

стінку труби тощо. Для газоперекачувальних агрегатів це — перепад тисків і температур, які він створює, коефіцієнт корисної дії, споживана енергія і т. д.

Частину елементів ГТС можна розглядати як такі, що не змінюють свої експлуатаційні параметри упродовж усього періоду симуляції задачі. Інша ж частина — це елементи, які можуть працювати як у стаціонарному, так і в нестационарному режимах. Їх експлуатаційні характеристики можуть змінюватися в процесі роботи ГТС залежно від зовнішніх впливів і параметрів процесів транспортування. Зовнішні впливи (ЗВ) задають у вигляді функцій часу, які можуть залежати й від параметрів стану газу (поток, тиску, температури). Ці функції визначають зміну в часі експлуатаційних параметрів відповідних технологічних елементів ГТС, а також параметрів потоку на входах, виходах ГТС та джерелах споживання технологічного газу.

ІАС дозволяє здійснювати числову реалізацію таких математичних задач:

- моделювання технологічних режимів роботи ГТС (стаціонарних і нестационарних),
- оптимізація технологічних режимів,
- оптимальне керування роботою ГТС,
- ідентифікація параметрів математичних моделей.

У задачах моделювання режимів роботи ГТС необхідно визначити розподіли тиску, густини потоку газу та температури в усіх елементах газотранспортної системи при заданих експлуатаційних параметрах цих елементів та зовнішніх впливах на ГТС.

У задачах оптимізації технологічних режимів визначенню підлягають режими транспортування газу, за яких заданий графік постачання газу споживачам виконується оптимально, відповідно до заданого критерію (мінімальні затрати, максимальна продуктивність, дотримання заданого рівня екологічної безпеки тощо).

У задачах оптимального керування роботою ГТС необхідно визначити зовнішні керуючі впливи на систему і відповідні їм зміни конфігурації мережі та режимів роботи компресорних станцій та іншого технологічного обладнання, за яких перехід з одного заданого режиму роботи ГТС на інший відбудеться із забезпеченням певного критерію або критеріїв (мінімальні час переходу чи енерговитрати, максимальна продуктивність перехідного періоду тощо).

Задачі ідентифікації, як і дві попередні категорії задач, є оберненими. Вони полягають у визначенні термодинамічних і механічних властивостей транспортованого газу, а також параметрів елементів ГТС на основі даних вимірювання параметрів газових потоків при заданих режимах роботи мережі. Ці параметри (коефіцієнт тертя газу на внутрішній стінці трубопроводу, в'язкість газової суміші, довжини трубопроводів, гідравлічні опори елементів ГТС, параметри, що визначають роботу компресорних станцій тощо) входять у відповідні математичні моделі, які використовуються в ІАС.

Задачі названих типів можна формулювати й досліджувати в рамках математичної моделі ГТС, збудованої з використанням рівнянь динаміки газу [4]. Для побудови такої моделі ГТС необхідно сформулювати рівняння, що описують рух газу через кожен елемент ГТС з урахуванням їх механічної та теплової взаємодії,

та умови спряження параметрів термодинамічного газу на межах сусідніх елементів. Окрім того, необхідно встановити модель конфігурації ГТС.

Ієрархію моделей ГТС, які використовують в ІАС, показано на рис. 3.

Вихідним пунктом побудови моделі ГТС є її технологічна схема (ТС), яка відображає реальну структуру ГТС та містить усі технологічні елементи. Інколи зручно розглядати ГТС як сукупність декількох підсистем, які можна моделювати окремо, враховуючи взаємообмін речовиною, енергією й імпульсом між ними.

Реальну структуру кожної такої підсистеми задають її технологічною схемою. При цьому модель ГТС можна подати у вигляді укрупненої структурної схеми (УСС), яка відображає взаємодію її підсистем.

На основі технологічної схеми формують розрахункову схему (РС), в якій присутні лише ті елементи ГТС, які безпосередньо впливають на газодинамічні процеси та термодинамічний стан газу під час його транспортування ГТС.

Для розрахункової схеми будують топологічну модель (ТМ) ГТС, що відображає конфігурацію мережі у вигляді орієнтованого графа, ребра якого відповідають елементам розрахункової схеми. Розрізняють ребра двох типів — внутрішнє ребро, яке з'єднане з графом обома кінцями, та термінальне ребро, що з'єднане лише одним кінцем. Серед термінальних вирізнятимемо орієнтовані ребра — входні, які відповідають входам ГТС, та вихідні, які відповідають її виходам, а також глухі ребра.

З кожним ребром графа асоційовано математичну модель відповідного йому елемента ГТС, яку подають у вигляді набору співвідношень, що пов'язують газодинамічні та термодинамічні параметри газу (наприклад тиск, потік маси, температуру). Кількість таких співвідношень дорівнює  $3N_r$ , де  $N_r$  — кількість ребер графа. Залежно від типу елемента, представленого в топологічній моделі цим ребром, його математична модель може включати диференціальні рівняння у частинних похідних, звичайні диференціальні рівняння, або ж функціональні залежності, подані в аналітичному, алгоритмічному чи табличному виглядах.

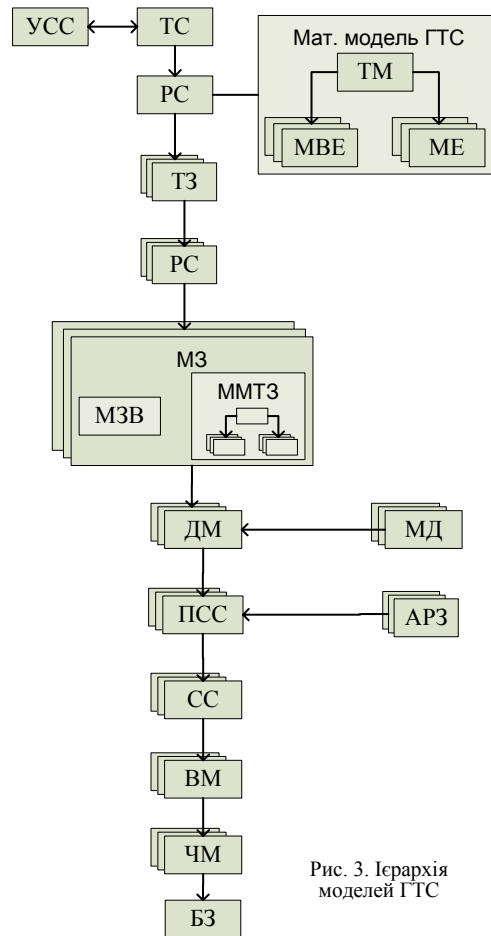


Рис. 3. Ієрархія моделей ГТС



До того ж із деякими ребрами (наприклад, з тими, що відповідають компресорним станціям чи елементам запірної арматури) асоційовані задані функції часу, які можуть залежати також від густини потоку та параметрів стану газу. Ці функції є специфічними для кожної задачі й визначають задані зовнішні впливи на ГТС.

Із кожним вузлом графа асоційований відповідний набір лінійних співвідношень, які пов'язують параметри транспортованого газу в елементах ГТС, що сходяться у цих вузлах. У термінальних вузлах ці співвідношення можуть залежати також від заданих функцій, які визначають зовнішні потоки маси, імпульсу й енергії. Сукупність цих співвідношень для усього графа утворює модель взаємодії елементів (МВЕ) ГТС. Їх кількість дорівнює  $3N_n$ , де  $N_n$  — кількість вузлів графа.

Сукупність ТМ, МЕ та МВЕ утворює математичну модель ГТС (ММГТС).

Наступним рівнем моделювання ГТС є технологічна задача (ТЗ). Її формулюють для деякої підсистеми чи всієї ГТС, конкретизуючи для неї множину зовнішніх впливів і потоків. Сукупність заданих функцій, які визначають зовнішні впливи на систему та зовнішні потоки, утворює математичну модель зовнішніх впливів (МЗВ). Для кожної ТЗ формують її математичну модель (ММТЗ), яка включає ТМ, МЕ і МВЕ. ММТЗ та МЗВ утворюють математичну задачу (МЗ).

Для числової реалізації отриманої МЗ використовують методи дискретизації, зводячи її до нелінійних систем звичайних диференціальних чи алгебраїчних рівнянь. Ці системи визначаються відповідними наборами матриць, які утворюють дискретну модель (ДМ) задачі.

Наступний рівень моделювання — побудова середовища симуляції задачі. З цією метою, використовуючи МБ та відповідні функції СО й ІК, користувач буде для сформованої ДМ алгоритм числової реалізації задачі (АРЗ). Відтак, на основі ДМ та АРЗ сервісна оболонка автоматично монтує проект середовища симуляції (ПСС). ПСС є набором файлів проекту, який придатний для компіляції засобами компіляції (ЗК), що входять до складу ІАС.

Після компіляції ПСС отримують модель наступного рівня — середовище симуляції (СС). Будучи завантаженим у пам'ять одного чи декількох комп'ютерів, СС утворює віртуальну модель (ВМ) ГТС (або тієї її частини, яку розглядають у цій задачі). Результати симуляції, які формують числову (імітаційну) модель (ЧМ), зберігають у відповідній базі даних. На основі числових моделей формують базу знань системи (БЗ).

### **3. Про парадигму створення ІАС**

З наведеного опису випливає, що запропонована ІАС є складним програмно-технічним комплексом, створити який можливо лише із застосуванням сучасних методів проектування й програмування. Відомо декілька моделей циклів життя програмного забезпечення [5]. Усі вони передбачають такі етапи, як формування вимог користувача та системи до створюваного програмного продукту, побудову його моделей та прототипів (макетів), розроблення проекту складових системи та їх інтегрування, написання текстів програм (імплементацію) і їх компіляцію та консолідацію, тестування програмних кодів складових і комплексу загалом тощо.

Слід підкреслити, що програмна система, яку розглядаємо, специфічна тим, що, як і більшість систем, призначених для математичного моделювання складних об'єктів і процесів таких, як MathCad, Maple, COSMOS, NASTRAN, LS DYNA й інших, вона поєднує в собі різномірні функції. Це з одного боку реалізація обчислювальних задач великої розмірності, а з іншого — підтримка процесів підготовки таких задач, маніпулювання великими масивами різномірних даних, прийняття управлінських рішень тощо. Ці функції об'єднує складова частина ІАС, яка позначена в запропонованій моделі як АРМ, що включає в себе функціональні складові ІК, СБ, СО, бази даних і знань.

Різномірність цих двох складових полягає у тому, що для їх імплементації доцільно використовувати різні середовища прикладного програмування. Для створення АРМ — це середовища програмування загального призначення, наприклад, С++ чи JAVA. Натомість для створення математичної підсистеми доцільно застосувати мови програмування типу FORTRAN. Бібліотеки математичних функцій, якими оснащені останні версії середовищ програмування цією мовою, увібрали в себе практично всі здобутки останніх десятиріч у галузях прикладної й обчислювальної математики та програмування. Ці бібліотеки є результатом багаторічних зусиль науковців, спрямованих на створення числових методів і їх алгоритмів. Програми, що реалізують ці алгоритми, пройшли ретельне тестування як на стадії їх розроблення, так і в процесі масового використання для створення прикладних програм відповідного профілю. Зазначимо також, що такою бібліотекою оснащена програма MatLab. Тож використання подібних середовищ розробки прикладних програм дозволяє уникнути необхідності створення алгоритмів та програм, які реалізують відповідні математичні функції, їх оптимізації й тестування, а відтак зекономити час і кошти при розробленні ІАС для ГТС.

Можливі два підходи до побудови ІАС.

За першим створюємо монолітну універсальну програму, код якої містить обидві частини — АРМ і математичну підсистему. При цьому для створення АРМ використовуємо універсальне середовище для розробки прикладних програм, таке, наприклад, як С++, а для реалізації математичної підсистеми — відповідне спеціалізоване середовище, наприклад FORTRAN чи MatLab. Сучасні технології програмування дозволяють створювати такі монолітні програмні системи з використанням відкомпільованих модулів, наприклад obj-модулів чи dll-бібліотек.

Проте, при створенні подібної ІАС необхідно врахувати величезне розмаїття математичних задач, які виникають у користувачів. Це, як зазначалося, прямі й обернені задачі, серед яких моделювання нестационарних режимів транспортування газу в крупномасштабних мережах, оптимізації режимів роботи ГТС, оптимального керування її роботою, задачі ідентифікації тощо. Зазначимо, що множина таких задач на сьогодні ще чітко не окреслена і, очевидно, розширятиметься в ході експлуатації ІАС. Тож, беручи до уваги, що переважна їх більшість є задачами великої розмірності, видається малоймовірним, що за такого підходу вдасться створити вискоєфективний програмний код, оскільки при цьому не уникнути частих звертань до системних функцій, дискових операцій (управління пам'яттю, dll-бібліотеки) та функцій СО.

Інший підхід полягає у тому, що монолітну програму створюють тільки для АРМ-частини ІАС. Ця частина, яка в числі інших своїх функцій, надає користувачеві можливості формувати математичні задачі, автоматично монтує на базі підготовленої користувачем задачі проект середовища симуляції, передає його на компіляцію відповідній підсистемі (ЗК), а відтак розміщає отриманий програмний код в пам'яті одного чи декількох комп'ютерів і контролює хід його виконання.

За цим підходом створюється програмний код для конкретно сформульованої задачі (задач) безпосередньо в сеансі роботи користувача. Цей код очевидно буде значно компактніший і простіший ніж за першого підходу, що, зрозуміло, відкриває значно ширші можливості для його оптимізації як за швидкістю, так і обчислювальними ресурсами.

Проміжок часу виконання однієї задачі при застосуванні першого підходу  $T_1$  визначиться як сума проміжків часу, необхідних для формулювання задачі  $\Delta t_f$  і реалізації обчислень  $\Delta t_{c1}$

$$T_1 = \Delta t_{f1} + \Delta t_{c1}. \quad (1)$$

За другого підходу слід взяти до уваги також і час  $\Delta t_t$ , який система затрачає для компіляції задачі,

$$T_2 = \Delta t_{f2} + \Delta t_{c2} + \Delta t_t. \quad (2)$$

Проміжки  $\Delta t_{f1}$ ,  $\Delta t_{f2}$  і  $\Delta t_t$  є величинами однакового порядку

$$\Delta t_t \sim \Delta t_{f2} \approx \Delta t_{f1}. \quad (3)$$

Натомість  $\Delta t_{c2}$  може бути істотно меншим від  $\Delta t_{c1}$  завдяки двом чинникам.

Один із них, який вже згадували, це — відмінності у розмірі та складності програмних кодів при першому та другому підходах, а також різні можливості їх оптимізації. Тут слід підкреслити, що за другого підходу складність обчислювального середовища, яке виконується в пам'яті комп'ютера, безпосередньо пов'язана зі складністю задачі — що нижча розмірність задачі, тим простіше і ефективніше середовище. Натомість при створенні монолітної програми такий зв'язок буде менш виражений. Це забезпечуватиме вищу ефективність програмного коду при реалізації другого підходу для задач порівняно невеликої розмірності.

Інший чинник забезпечує вищу ефективність для другого підходу при реалізації задач великої розмірності. Це — можливості розпаралелювання обчислень. Причиною складності задач, для симуляції яких призначена ІАС, окрім великої розмірності, є їх нелінійність і, як наслідок, необхідність застосування ітераційних алгоритмів. У прямих задачах ітераційні процеси застосовують, щоб розв'язувати задачі Коші для нелінійних систем звичайних диференціальних рівнянь. Обернені задачі зводять, як правило, до пошуку екстремуму певного функціонала на множині розв'язків прямих задач. Тож, щоб реалізувати процес обчислень на декількох платформах паралельно, достатньо розмістити на них ідентичні

копії СС, задавши кожній з них свій простір зміни параметрів, так щоб їх об'єднання утворювало простір зміни параметрів для вихідної задачі.

Усі ці міркування дають підстави сподіватися на виконання умови

$$\Delta t_{c2} \ll \Delta t_{c1}. \quad (4)$$

Додаткові затрати часу на компіляцію ПСС для сформульованої задачі за другого підходу з надлишком компенсуватиме економія часу, що досягається коштом істотного зростання ефективності програмного коду і реалізації паралельних обчислень.

**Висновки.** Як зазначалося, ІАС призначена для числової реалізації задач великої розмірності. Однією з вимог до системи є можливість реалізації задач у реальному часі. Оскільки ГТС є крупномасштабною системою, характерні лінійні розміри якої вимірюються сотнями (і навіть тисячами) кілометрів, то характерні часи зміни процесів перенесення маси імпульсу та енергії сягають багатьох годин. Цим визначається верхня грань для можливих значень параметрів  $\Delta t_{c1}$  і  $\Delta t_{c2}$ . Тобто задачі, час виконання яких визначається годинами, не є чимось екстраординарним для систем такого типу. Разом із тим процеси підготовки задачі і її компіляції вимагають часу порядку хвилин. Тож додатковий час, затрачений на компіляцію ПСС є неістотним порівняно із загальним часом розв'язування задач.

Зрозуміло, що перш ніж приступити до розроблення програмного комплексу подібного масштабу необхідно провести низку досліджень на моделях та макетах з тим, щоб експериментально перевірити концептуальні засади його функціонування та створення. Зазначимо, що систему можна умовно поділити на декілька функціональних складових, наприклад, можлива декомпозиція таких трьох модулів:

- підсистему маніпулювання даними, яка об'єднує засоби доступу до даних SCADA-системи та зовнішніх джерел, бази даних, а також засоби зі складу ІК та СО, необхідні для управління цією підсистемою;
- підсистему штучного інтелекту, яка охоплює базу знань та частини з ІК та СО, які реалізують функції підтримки цієї бази і забезпечують діалог з користувачем;
- підсистему симуляції, яка об'єднує МБ, ЗК та частини ІК і СО, які надають користувачі підтримку в формулюванні задач, реалізують функції монтування ПСС та управління задачами, що виконуються.

Хоч ці підсистеми функціонально пов'язані між собою, значну частину попередніх досліджень можна проводити для кожного із них незалежно. Такі дослідження, на наш погляд, повинні включати в себе:

- побудову моделей підсистем,
- вибір технологій і середовищ їх проектування та імплементації,
- вибір конфігурацій обчислювальних платформ і операційних середовищ,
- вибір мережевої архітектури,

- вибір технології та середовища для створення прототипу,
- побудову прототипу,
- експериментальні дослідження з використанням прототипу:
  - функціональності вибраної моделі,
  - обчислювальної ефективності,
  - конфігурації обчислювальних платформ та їх операційних середовищ.

### **Література**

- [1] Панкратов В. С., Герке В. Г., Сарданаивили С. А., Митичкин С. К. Комплекс моделирования и оптимизации режимов работы ГТС. — М.: ООО ИРЦ Газпром, 2002. — 56 с.
- [2] Kralik J., Stiegler P., Vostry Z. and Zavorka J. Modelling the Dynamics of Flow in Gas Pipelines // IEEE Transactions on System, Man, and Cybernetics. — July/August, 1984. — Vol. sms-14, № 4. — P. 586-596.
- [3] Kralik J., Stiegler P., Vostry Z. and Zavorka J. A Universal Dynamic Simulation Model of Gas Pipeline Networks // IEEE Transactions on System, Man, and Cybernetics. — July / August, 1984. — Vol. sms-14, № 4. — P. 597-606.
- [4] Лойцянский Л. Г. Механика жидкости и газа. — М.: Наука, 1978. — 736 с.
- [5] Соммервилл И. Инженерия программного обеспечения: пер. с англ. — 6-е изд. — М.: Издательский дом «Вильямс», 2002. — 624 с.

## **To Creation of a System for Modelling and Optimization of Natural Gas Transportation**

Vasyl Chekurin

*In the practice of natural gas transportation systems control it is often necessary to solve direct and inverse problems for mass, momentum and energy transfer in large-scaled pipeline networks. These problems lead to large-scale simulation models, what is caused by their non-linearity and large scales. On basis of simulation results of these problems it is possible to evaluate eventual consequences of certain outside influences on the system and to develop tactics and strategies for controlling with such multiplex technological objects. To achieve this special software is needed. A necessary requirement to such programs is their ability to perform several dissimilar functions — to realize numerically the large-scale calculating tasks and to give the users supports for such tasks preparation, large data arrays manipulation, controlling decisions making etc. In the paper some approaches to building of such program system are considered, its structure and paradigm of functioning are discussed.*

## **К построению системы моделирования и оптимизации процессов транспорта природного газа**

Василь Чекурин

*В практике управления газотранспортными системами часто возникает потребность в моделировании процессов переноса массы, импульса и энергии в крупномасштабных трубопроводных сетях. Прямые и обратные задачи, которые при этом возникают, приводят к численным моделям большой размерности, что обусловлено нелинейностью этих задач и масштабами сети. На основе результатов симуляции этих моделей можно оценить*

*возможные последствия от управленческих действий, разрабатывать тактику и стратегию управления этим сложным инженерным объектом. Для этого необходимы специальные программные средства, которые выполняют разнородные функции — реализуют в реальном времени вычислительные задачи большой размерности и предоставляют пользователям средства для поддержки формирования таких задач, манипулирования большими массивами разнородной информации и выработки управленческих решений. В статье рассматриваются некоторые подходы к построению такой программной системы и обсуждаются ее структура и парадигма функционирования.*

Отримано 10.06.07