



СЕРПІЄНКО

Іван Васильович — академік НАН України, доктор фізико-математичних наук, професор, директор Інституту кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України

МАТЕМАТИЧНЕ ТА ПРОГРАМНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СКЛАДНИХ СИСТЕМ З ВИКОРИСТАННЯМ СУПЕРКОМП'ЮТЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Ефективність застосування суперкомп'ютерних технологій розглянуто з точки зору реалізації основних парадигм математичного моделювання: високопродуктивні обчислення, комп'ютерна математика і програмне забезпечення. Ефективна реалізація цих чинників дозволяє істотно перерозподілити роботи з постановки і розв'язування задач між користувачем і комп'ютером порівняно з традиційними технологіями, автоматизувати процес дослідження та розв'язання задач, забезпечити достовірність комп'ютерних розв'язків та істотне скорочення часу математичного моделювання.

Ключові слова: суперкомп'ютерні технології, високопродуктивні обчислення, персональний суперкомп'ютер.

У сучасному світі неможливо створювати нову конкурентоспроможну продукцію без застосування передових інформаційних технологій. Стало очевидним, що математичне моделювання дає можливість на порядок (а інколи і більше) підвищити ефективність розв'язання різноманітних задач — у сфері науки, техніки, економіки, промисловості, державного управління, безпекової політики держави тощо. Створення новітніх інформаційних технологій визначає рівень науково-технічного розвитку держави. Вони дозволяють розширити горизонти пізнання світу, вивчати нові процеси, об'єкти та явища. З іншого боку, використання методів математичного моделювання, комп'ютерних технологій приводить до великорозмірних надскладних обчислювальних задач. Для прикладу, при математичному моделюванні міцнісних характеристик літака в цілому виникає необхідність у розв'язуванні системи лінійних алгебраїчних рівнянь, порядок якої становить близько 30 млн. Постає проблема подолання трансобчислювальної складності. У цьому випадку високопродуктивні обчислення і суперкомп'ютерні технології на основі паралельних обчислень є одним з



Суперкомп'ютер СКІТ-4

основних (а інколи і єдиним) інструментів математичного моделювання у наукових та інженерних дослідженнях.

В Україні створено інфраструктуру для математичного моделювання на основі високопродуктивних обчислень на базі ресурсних центрів, основу яких становить суперкомп'ютер Інституту кібернетики ім. В.М. Глушкова — СКІТ. Завдяки зусиллям Інституту теоретичної фізики ім. М.М. Боголюбова такі центри було об'єднано у грид-мережу — Український національний грид, що забезпечує широкому колу академічних інститутів та інших організацій доступ до необхідного обчислювального ресурсу для математичного моделювання процесів і явищ у різних галузях науки та інженерії. Доступ до суперресурсу, причому без прив'язки до його географічного місцезнаходження, забезпечується також за допомогою хмарних технологій.

А все починалося наприкінці 70-х — на початку 80-х років минулого сторіччя, коли на основі ідеї академіка В.М. Глушкова розпочалася робота зі створення нової архітектури багатопроцесорних суперкомп'ютерів. Ідею розроблення макроконвеєрної обчислювальної системи було реалізовано під керівництвом академіка В.С. Михалевича вже після смерті В.М. Глушкова [1]. Було створено промислові зразки макроконвеєрного обчислювального комплексу (МОК) ЄС-1766 — першої багато-

процесорної обчислювальної системи з розподіленою пам'яттю і високою ефективністю розпаралелювання процесів розв'язування задач. При цьому макроконвеєрна організація обчислень дозволила отримати майже лінійне зростання продуктивності комп'ютера зі збільшенням кількості процесорів.

На МОК було розв'язано ряд прикладних задач великої складності, а саме: задачі дослідження на міцність літака в цілому, розглянуті в інтересах ЦАГІ ім. проф. М.Є. Жуковського, чисельного моделювання ядерного вибуху за допомогою програми Всесоюзного науково-дослідного інституту експериментальної фізики, дослідження взаємодії атмосфери та океану за програмою відділу обчислювальної математики АН СРСР. Результати їх розв'язування показали високу ефективність МОК і добру корельованість даних чисельних та натурних експериментів.

Академік НАН України В.С. Дейнека побудував математичну модель і розробив обчислювальну схему розрахунку напружено-деформованого стану корпусу літака, аналіз реалізації якої в режимі паралельної обробки повнопов'язаних даних великих об'ємів сприяв залученню до створюваного системного математичного забезпечення та архітектури комплексу важливих функцій, реалізованих у МОК ЄС-1766. За допомогою цієї схеми в цілому вперше проаналізовано на МОК ЄС-1766 формування напружено-деформованого стану корпусу літака ІЛ-86 у робочих режимах.

Помітним кроком у розвитку технології паралельного програмування стало створення системного математичного забезпечення макроконвеєрного обчислювального комплексу, який включав мову паралельного програмування МАЯК та операційну систему для багато-процесорної системи з розподіленою пам'яттю.

Новим поштовхом до математичного моделювання складних систем та явищ стало поширення кластерних систем.

У 2004—2008 рр. Інститут кібернетики послідовно розробив три суперкомп'ютери СКІТ кластерної архітектури (головний конструктор В.М. Коваль), кожний з яких на момент

введення в експлуатацію був найшвидшим в Україні і посідав високе місце серед найшвидших ЕОМ СНД [2]. В основу архітектури СКІТ покладено корисні моделі багатопроцесорної обчислювальної системи, розроблені в Інституті кібернетики і захищені патентами України (2006 р.). Їх особливість — застосування одно-рангової комунікаційної мережі без виділеного каналу управління замість гіперкуба парних зв'язків класичної архітектури Beowulf — зараз притаманна переважній більшості обчислювальних кластерів.

На сьогодні Інститут кібернетики має одну з найпотужніших кластерних систем — суперкомп'ютер СКІТ-4 з піковою продуктивністю близько 46 терафлопсів, і володіє кількома десятками технологій, які дозволяють з великою ефективністю вирішувати найскладніші завдання економіки, екології, захисту інформації, дослідження та захисту навколишнього середовища, космічних досліджень, досліджень закономірностей і таємниць біологічних процесів та ін.

Інститут безкоштовно надає обчислювальний ресурс суперкомп'ютера СКІТ і підтримку обчислювального процесу більш ніж 30 академічним установам, університетам та іншим державним організаціям і підприємствам. Проте для забезпечення сучасного рівня продуктивності комп'ютерів (хоча б рівня середнього університету США) необхідна модернізація СКІТ принаймні до 100 терафлопсів і відповідні капіталовкладення в обсязі близько 200 тис. дол. США. Сума занадто велика для НАН України.

Спільно з літакобудівниками фахівці Інституту кібернетики під керівництвом академіка НАН України О.В. Палагіна та члена-кореспондента НАН України О.М. Хіміча розробили програмно-технічний комплекс на базі суперкомп'ютера СКІТ і адаптували його для розв'язання розрахункових задач ДП «Антонов» надвеликої розмірності (аеродинаміка, міцність, проектування, обробка результатів) на основі нових моделей та методів, що забезпечують нову якість і достовірність комп'ютерного моделювання.

До переліку основних класів задач математичного моделювання конструкцій літальних апаратів та окремих вузлів входять задачі міцнісного аналізу: розрахунок монолітної моделі планера; розрахунок збірної конструкції планера; розрахунок агрегату літака; розрахунок літака в цілому та задачі аеродинамічного проектування й оптимізації: моделі відсіку крила (без механізації, з випущеною механізацією); ізолюваного крила; ізолюваного фюзеляжу; компоновки крила з фюзеляжем; повної компоновки літака в крейсерській конфігурації; повної компоновки у злітно-посадковій конфігурації тощо.

Суперкомп'ютери успішно застосовують і в інших предметних галузях, зокрема для розроблення новітніх комп'ютерних технологій математичного моделювання складних систем і процесів в інтересах сфери державного управління, для прийняття рішень. За ініціативою Бюджетного комітету Верховної Ради України спільно з Державною установою «Інститут економіки та прогнозування НАН України» та Інститутом телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України створено ефективний сучасний інструментарій для розрахунку різних варіантів бюджетно-податкової політики на державному та регіональному рівнях і прогнозування середньострокових наслідків прийнятих рішень.

Створено низку технологій, зокрема технологію Nadra-3D, спрямованих на аналіз стану і прогноз динаміки процесів, які відбуваються в гідротехнічних спорудах, технічних конструкціях, ґрунтових схилах, масивах ґрунтів, що зазнають впливу великих забудов, підземних споруд, добування корисних копалин та ін., і пов'язані з рухом рідини та явищами теплопровідності. Зараз спільно з Інститутом геологічних наук НАН України технологія Nadra-3D використовується в роботах з оцінки запасів підземних вод регіонів України, для прийняття стратегічних рішень у сфері природокористування та будівництва важливих споруд.

Розроблено ефективні методи для вирішення широкого класу задач аналізу надійності складних технічних систем, оцінки ризику

екологічно небезпечних виробництв, створення високонадійних систем захисту інформації. Цей напрям очолюють академіки НАН України І.М. Коваленко [3] і В.К. Задірака [4].

На основі математичних методів керування в умовах невизначеності розроблено ряд комп'ютерних систем, моделювальних комплексів і тренажерів, пов'язаних з керуванням космічними апаратами, пошуком рухомих об'єктів та стаціонарних цілей, керуванням безпечним злетом і посадкою літаків, «м'якою посадкою», перехопленням цілей у конфліктній ситуації. Цю тематику успішно розвивають академік НАН України В.М. Кунцевич [5], член-кореспондент НАН України А.О. Чикрій [6] та їхні учні.

Системний підхід до дослідження складних міждисциплінарних проблем різної природи розвивається в роботах академіка НАН України М.З. Згуровського [7]. Засобами системного аналізу розроблено методологічні і теоретичні основи формалізації і розв'язання міждисциплінарних задач, які стосуються різних предметних галузей. Запропоновано методи формалізації системних задач, приведення їх до форми розв'язання в реальних умовах, що характеризуються наявністю великої кількості суперечливих цілей, різних видів невизначеностей і ризиків. Розроблено обчислювальні алгоритми і процедури вирішення практичних завдань міждисциплінарного характеру для застосувань, що належать до науково-технічної та соціально-економічної сфери діяльності людини.

Одночасно з розвитком архітектури і апаратного забезпечення високопродуктивних обчислювальних систем під керівництвом члена-кореспондента НАН України О.Л. Перевозчикової розгорнулися дослідження принципів створення математичного та системного програмного забезпечення великих паралельних систем.

У колективі на чолі з академіком НАН України П.І. Андоном розроблено теоретичні основи створення високонадійного програмного забезпечення високопродуктивних обчислювальних систем, сформовано формальний апа-

рат, який містить концепції, моделі, методи щодо забезпечення якості програмного забезпечення [8].

Однак разом зі зростанням можливостей комп'ютерів для наукових та інженерних досліджень ростуть і проблеми їх створення та застосування. Збільшення числа процесорів (ядер) в паралельних комп'ютерах у цій ситуації означає істотне зростання комунікаційних втрат і зниження їх ефективності. Уже зараз є значні відмінності між максимальною та експлуатаційною продуктивністю (див. Top-500).

Виявилось, що необхідно переосмислити всі відомі методи обробки інформації стосовно паралельних архітектур, враховуючи як властивості розв'язуваної задачі, так і характеристики паралельного комп'ютера. При цьому необхідно враховувати, що для різних паралельних комп'ютерів — MIMD-, SIMD-архітектури, гібридної архітектури, алгоритми і програми відрізнятимуться. Причому для багатьох задач більше обчислювальних пристроїв ще не означає швидше. Оптимізація топології комп'ютерів для конкретної задачі стає нагальною необхідністю.

Слід зазначити, що більшість практичних задач з різних галузей народного господарства, зокрема машинобудування, економіки, геології, енергетики, ядерної фізики, океанографії, молекулярної біології, електрозварювання та ін. (близько 85% за даними літературних джерел), зводиться або є проміжним етапом розв'язування базових задач обчислювальної математики (системи лінійних рівнянь, алгебраїчна проблема власних значень, нелінійні рівняння та системи, задачі з початковими умовами для систем звичайних диференціальних рівнянь). Отже, не звужуючи сферу застосування розробленого інструментарію, в цій роботі акцент зробимо на сучасних розробках Інституту кібернетики в галузі математичного моделювання.

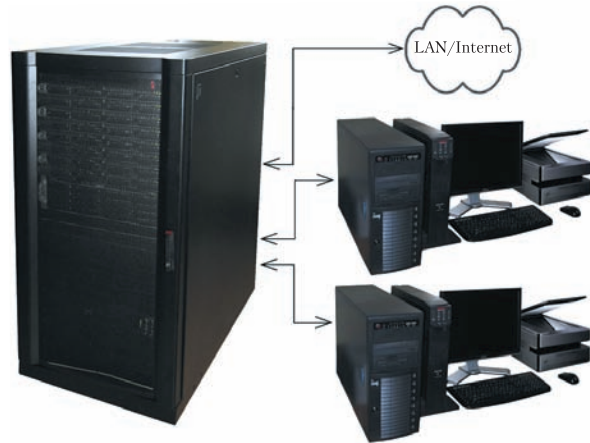
Розробленню комп'ютерних методів високопродуктивних обчислень (паралельних, розподілених, гібридних) для базових задач обчислювальної математики присвячено велику кількість робіт (див., наприклад, посилання в

роботі [9]). Значного прориву в цьому напрямі вдалося досягти завдяки запропонованому методу рядкової циклічної декомпозиції даних, що пізніше увійшов у світову практику побудови збалансованих блочно-циклічних паралельних алгоритмів для задач лінійної алгебри, структурної регуляризації матриць для вирішення проблеми ущільнення обчислень для розріджених структур даних.

Ключовою проблемою процесу математичного моделювання, що акумулює в собі вплив усіх інших факторів, є проблема вірогідності машинних розв'язків. Важливість цієї проблеми підтверджує хоча б той факт, що вже понад 20 років у 30 країнах світу функціонують робочі групи агентства NAFEMS (National Agency for Finite Element Methods and Standards, UK), основне завдання якого полягає в забезпеченні надійності та безпеки інженерних розрахунків на комп'ютерах за методом скінченних елементів (МСЕ) та пов'язаних з ним технологій.

Проблема достовірності комп'ютерних розв'язків ускладнюється також зі зростанням об'ємів задач на паралельних комп'ютерах. Відомо, що в ряді випадків при вирішенні наукових та інженерних задач на комп'ютерах користувачі одержують машинні рішення, які не мають фізичного змісту. Цьому є багато причин, але найчастіше це відбувається через похибки в початкових даних, відмінності властивостей математичних і машинних моделей задач, відмінності арифметики і комп'ютерної арифметики та ін. Принципово, що у зв'язку з цим математичну модель з наближеними даними слід розглядати як таку, що має априорі невизначені властивості, які можуть змінюватися в межах похибки вихідних даних. Звідси одне із завдань математичного моделювання — в комп'ютерному середовищі дослідити властивості машинної задачі, побудувати алгоритм отримання наближеного розв'язку та дати оцінку його точності.

Закцентує увагу на пріоритетних результатах у цьому напрямі. Одержано оцінки повної похибки розв'язків лінійних систем прямими та ітераційними методами. Вперше отримано оцінки похибок псевдорозв'язків та зважених



Гібридна інтелектуальна робоча станція Інпарком_г продуктивністю 5 терафлопсів

псевдорозв'язків для випадку незбігу рангу вихідної та збуреної матриці. Другим важливим результатом вважаю розроблення критеріїв закінчення ітераційних процесів, що гарантують задану похибку в умовах наближених обчислень та похибки вихідних даних.

Проблема дослідження достовірності комп'ютерних розв'язків, крім іншого, ускладнюється ще й тим, що в комп'ютерному середовищі практично неможливо адекватно ідентифікувати властивості математичної моделі задачі, зокрема відрізнити некоректну задачу від погано обумовленої, кратні власні значення від патологічно близьких тощо. Отже, можна говорити про нерозв'язність таких задач на всьому класі матриць за фіксованих характеристик комп'ютерного середовища. Цей напрям інтенсивно розвивається в Інституті кібернетики, зокрема з використанням техніки багаторозрядної арифметики [4, 10].

Іншою не менш важливою і актуальною проблемою практичної реалізації високопродуктивних обчислень є створення програмного забезпечення рівня кінцевого користувача — інтелектуальних програмних засобів, які забезпечують спілкування з комп'ютером мовою предметної галузі та автоматизацію процесу розв'язування задачі на комп'ютері (алгоритмізація, програмування, вибір топології, розв'язування задачі в умовах наближе-

них початкових даних з аналізом достовірності комп'ютерних результатів). Для створення паралельних програм у такому випадку великої ваги набувають проблеми верифікації програмного забезпечення та його надійності, автоматизації та оптимізації процесів налаштування і тестування паралельних програм.

Нові фундаментальні результати в цьому напрямі отримав академік НАН України О.А. Лещевський та його учні [11]. На розвиток ідей і методів В.М. Глушкова було створено систему інсерційного моделювання, за допомогою якої можна досліджувати багатоагентні розподілені інформаційні системи, створювати інструментальні системи проектування, які підтримують процес проектування розподіленої програмної системи від аналізу вимог до генерації коду. Розроблено методи та алгоритми верифікації формальних специфікацій на базі системи інсерційного програмування. Актуальність розроблення методів верифікації програм та реалізації відповідних інструментів зумовлена високими вимогами до надійності програм, що створюються з метою промислового та комерційного застосування. Суттєвою перевагою над іншими світовими аналогами є ефективне застосування символічного моделювання для забезпечення повноти верифікації і тестування досліджуваної програмної системи.

Хотів би відзначити прикладний напрям фундаментальних результатів. З практичної точки зору отримані результати дозволяють перенести тестування програмного забезпечення на рівень тестування формальної моделі.

Основною проблемою верифікації досі залишається проблема комбінаторного вибуху кількості станів моделі. Очевидно, що за такої кількості досяжних станів перевірка моделі за допомогою прямого перебору практично нездійсненна. Тому створення оптимізаційних методів тестування програмного забезпечення є видатним результатом. Слід також зазначити, що результати роботи мають успішне комерційне впровадження у спільних проектах з фірмою Motorola.

Дослідження в галузі комп'ютерної математики і високопродуктивних обчислень є теоре-

тичною основою створення інтелектуального чисельного і прикладного програмного забезпечення [12]. Коротко зупинюся на основних новаціях такого підходу. З функціональної точки зору інтелектуальне програмне забезпечення в автоматичному режимі реалізує інноваційну функцію адаптивного налаштування алгоритму, синтезованої програми і архітектури комп'ютера на властивості задачі й отримання комп'ютерного розв'язку з оцінкою достовірності для задач з наближеними вихідними даними (наявні програмні засоби для цієї предметної галузі розглядають задачу в точній постановці).

З точки зору кінцевого користувача реалізується автоматичний режим дослідження і розв'язання задач (хоча не виключається й інтерактивний), створення паралельних програм, що звільняє користувача від проблем, пов'язаних з особливостями паралельних обчислень. Реалізовано принцип прихованого паралелізму, що забезпечує кінцевому користувачу такий самий принцип роботи за суперкомп'ютером, як і за послідовним комп'ютером. З програмної точки зору інтелектуальне програмне забезпечення реалізує концепцію знань.

Інтелектуальне програмне забезпечення автоматизує процес дослідження та проведення розрахунків у задачах чисельного моделювання і забезпечує ефективне вирішення завдань за допомогою відповідного алгоритмічного і програмного інструментарію. Очевидно, що найбільша ефективність досягається, коли архітектура комп'ютера узгоджується з можливостями програмно-алгоритмічних засобів.

Підсилює дослідницьку функцію комп'ютера при вирішенні задач здатність його архітектури (кількість процесорів, віртуальна топологія) і математичних характеристик процесорів (довжина машинного слова, пам'ять) автоматично адаптуватися до властивостей машинної моделі задачі для ефективного її розв'язання. Ця ідея була закладена при створенні сімейства інтелектуальних комп'ютерів. Ще одним чинником для створення комп'ютерів середньої ланки (робочих станцій) була економічна

складова — для деяких задач математичного моделювання (середніх за складністю) достатньо ресурсу робочих станцій, тоді як використання суперкомп'ютерів дуже коштовна річ.

Робочі станції можна використовувати і як інструменти для відлагодження програм для суперкомп'ютерів. В Інституті кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України розробили концепцію і спільно з ДНВП «Електронмаш» створили сімейство інтелектуальних комп'ютерів Інпарком. Інтелектуальні комп'ютери Інпарком призначені для дослідження і розв'язання наукових та інженерних задач і покликані заповнити нішу між персональними комп'ютерами (з порівняно низьким обчислювальним ресурсом) та суперкомп'ютерами. Реалізується принцип «не числом, а вмінням». На відміну від традиційних інтелектуальні комп'ютери забезпечують дослідження властивостей задач та автоматизацію процесу адаптивного налаштування алгоритмів, програм та архітектури комп'ютера на властивості задачі.

Високопродуктивні обчислення, дослідження проблем комп'ютерної математики, а також створення інтелектуальних систем для математичного моделювання, в тому числі сімейства Інпарком, є предметом досліджень, які очолює член-кореспондент НАН України О.М. Хіміч.

З використанням Інпарком розв'язано складні задачі в різних галузях інженерії. Створено та впроваджено в практику цивільного і промислового будівництва першу вітчизняну інтелектуальну систему автоматизації проектування унікальних будівельних конструкцій (спільно з компанією «ЛІРА-САПР»). Досягнуто істотного скорочення часу отримання проектних рішень, що дало можливість перейти до тривимірних математичних моделей при прийнятті проектних рішень і збільшити надійність комп'ютерного моделювання. Така система особливо важлива в практиці висотного будівництва, для супроводу життєвого циклу будівель з метою їх безпечної експлуатації. Розв'язано аеродинамічні задачі обтікання планера АН-148 (спільно з ДП «Антонов»), проведено газодинамічні і міцнісні розрахунки деталей та вузлів авіадвигунів (спільно з ДП

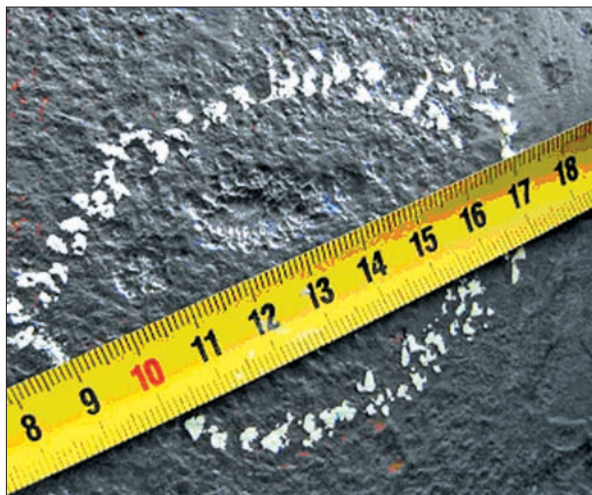


Інтелектуальний персональний суперкомп'ютер Інпарком_pg продуктивністю 3 терафлопси

«Івченко-Прогрес»), здійснено математичне моделювання процесів в'язкого руйнування товстостінних елементів трубопроводів з дефектами стоншення (спільно з Інститутом електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України), комп'ютерне моделювання процесу обтікання виробу і визначення аеродинамічних характеристик літальних апаратів (спільно з ДККБ «Луч»), математичне моделювання процесів фільтрації в багатокомпонентних геологічних середовищах, зокрема водоносних шарів Чернігівського регіону з розгалуженою мережею поверхневих водотоків (спільно з Інститутом геологічних наук НАН України), тощо.

За останні роки розроблено та створено експериментальні зразки інтелектуального персонального суперкомп'ютера гібридної архітектури Інпарком_pg для математичного моделювання в галузі оборони, машинобудування та цивільного будівництва, а також інтелектуальний паралельний комп'ютер Інпарком_xr на новітніх хост-процесорах Intel Xeon Phi.

Персональний суперкомп'ютер орієнтований переважно на індивідуальне використання, що підіймає на новий, суттєво вищий щабель ресурс персонального комп'ютерингу для науково-технічних розрахунків. При цьому Інпарком оснащений інтерфейсом для функціонування в мережевому грід-середовищі, має інтелектуальний веб-інтерфейс для розв'язання розрахункових задач у режимі віддаленого доступу в інтернет-середовищі.



Математичне моделювання процесів руйнування товстостінних елементів трубопроводів з дефектами стоншення

Серед головних переваг інтелектуального персонального суперкомп'ютера Інпарком_pg слід відзначити такі:

- звільнення користувачів від роботи з дослідження задач, створення паралельних алгоритмів і програм, що істотно скорочує час постановки і розв'язування задач науки та інженерії;
- отримання комп'ютерного розв'язку задачі з оцінкою його достовірності, який враховує обчислювальні похибки та похибки внаслідок неточності вихідних даних;
- реалізація принципу прихованого паралелізму, що забезпечує такий самий режим роботи користувача на паралельному комп'ютері, як і на комп'ютері з послідовною організацією обчислень.

Крім того, завдяки новітнім графічним прискорювачам використання Інпарком_pg дає змогу зменшити габарити комп'ютера до формату персонального і забезпечити порівняно невисокі енерговитрати.

На основі гібридних обчислень створено та впроваджено як штатне прикладне програмне забезпечення Інпарком:

- *Ліра_g* — для математичного моделювання процесів та аналізу міцності будівельних об'єктів;

- *Надра_g* — для математичного моделювання процесів масопереносу, зокрема для моделювання процесу фільтрації в багатокомпонентних геологічних середовищах;

- *Weld-Predictions_g* — для математичного моделювання напружено-деформованого стану зварних конструкцій.

Застосування Інпарком_pg дає можливість істотно скоротити час математичного моделювання і відповідно заощадити кошти на проведення високовартісних натурних експериментів. Завдяки відносно невисокій ціні, малим габаритам і низькому енергоспоживанню цей апаратно-програмний комплекс орієнтований на локальне використання (поза комп'ютерними мережами), що є актуальним для кінцевих користувачів, наприклад для автоматизації проектування в галузі оборони та будівництва, і забезпечує конфіденційність розрахунків.

Отже, значний прогрес у всіх галузях народного господарства неможливий без впровадження новітніх комп'ютерних технологій на основі нових досягнень у галузі кібернетики. Розроблення уточнених математичних моделей, врахування якомога більшого числа факторів, забезпечення достовірності комп'ютерних розв'язків, одержання, зберігання, передавання й перетворення інформації в системах управління приводить до розв'язання задач надвеликої розмірності, для реалізації яких недостатньо ресурсів сучасних персональних комп'ютерів і робочих станцій. Рішення проблеми лежить у площині створення математичного інструментарію та розроблення суперкомп'ютерного ресурсу з використанням вітчизняних і світових досягнень. Можливості сучасних суперкомп'ютерів (висока продуктивність і значні об'єми запам'ятовуючих пристроїв) дозволяють вирішувати нові науково-технічні проблеми проривного характеру для багатьох галузей народного господарства, істотно скорочувати кошти і час на розроблення об'єктів сучасної техніки. Зазначимо, що організація натурних експериментів вимагає на два-три порядки більших витрат часу і коштів, ніж організація чисельного експерименту.

Сьогодні на часі створення нових вітчизняних комп'ютерних технологій (у тому числі інтелектуальних) для забезпечення якомога більшої кількості галузей народного господарства науковим підґрунтям та високопродуктивним обчислювальним ресурсом на рівні світових вимог для створення новітніх технологій, інтеграції цього напрямку у світовий та європейський науковий простір.

Зважаючи на ініціативу Єврокомісії щодо розроблення Європейського суперкомп'ютера продуктивністю понад 10 петафлопсів до 2020 р. для створення технологій штучного інтелекту та їх застосування у сфері охорони здоров'я, відновлюваній енергетиці, кібербезпеці та інжинірингу, Інститут кібернетики, маючи досвідчений колектив висококваліфікованих спеціалістів зі створення високопродуктивних комп'ютерів (фахівців з математичного моделювання та обчислювальних методів, системного і математичного забезпечення,

інженерів-комп'ютерників, спеціалістів з мікроелектроніки) і досвід створення сімейств СКІТ та Інпарком, спільно з інженерами та науковцями ДНВП «Електронмаш» могли б долучитися до цього амбітного для Європи проекту.

Крім того, досвід викладання методів паралельних обчислень у вищих навчальних закладах свідчить про вкрай низький рівень оснащеності наших ВНЗ високопродуктивними комп'ютерами і, як наслідок, відсутність (за рідкісними винятками) вітчизняних комп'ютерних технологій для математичного моделювання в різних галузях народного господарства. Особливо вражає розрив між обчислювальним ресурсом вітчизняних і закордонних університетів. Тому інша, не менш важлива мета — піднести на суттєво вищий рівень освітню підготовку з високопродуктивних обчислень і мотивацію молоді до створення новітніх суперкомп'ютерних технологій.

REFERENCES

[СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ]

1. Molchanov I.N. (ed.). *Numerical methods for the multiprocessor computer complex ES*. Moscow, 1986. [Михалевич В.С., Молчанов И.Н., Сергиенко И.В. и др. *Численные методы для многопроцессорного вычислительного комплекса ЕС*. Под ред. И.Н. Молчанова. М.: ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 1986.]
2. Serhiyenko I., Koval V. SCIT — Ukrainian supercomputer project. *Visn. Nac. Akad. Nauk Ukr.* 2005. (8): 3. [Сергиенко И.В., Коваль В.М. СКІТ — український суперкомп'ютерний проект. *Вісник НАН України*. 2005. № 8. С. 3—13.]
3. Kovalenko I.N., Kochubinskii A.I. Asymmetric Cryptographic Algorithms. *Cybernetics and Systems Analysis*. 2003. **39**(4): 549. <https://doi.org/10.1023/B:CASA.0000003504.91987.d9> [Коваленко И.Н., Кочубинский А.И. Асимметричные криптографические алгоритмы. *Кибернетика и системный анализ*. 2003. № 4. С. 95—100.]
4. Zadiraka V.K., Oleksyuk O.S. *Computer arithmetic of multi-digit numbers*. (Kyiv, 2003). [Задірака В.К., Олексюк О.С. *Комп'ютерна арифметика багаторозрядних чисел*. К.: Економічна думка, 2003.]
5. Kuntsevich V.M. *Management in uncertainty: guaranteed results*. (Kyiv, 2006). [Кунцевич В.М. *Управление в условиях неопределенности: гарантированные результаты*. К.: Наук. думка, 2006.]
6. Chikrii A.A. *Conflict controlled processes*. (Dordrecht, Boston, London. Springer Science and Business Media, 2013).
7. Zgurovsky M.Z., Pankratova N.D. *System analysis: problems, methodology, applications*. (Kyiv, 2011). [Згуровський М.З., Панкратова Н.Д. *Системний аналіз: проблеми, методологія, приложения*. К.: Наук. думка, 2011.]
8. Andon F.I., Koval G.I., Korotun T.M., Lavrisheva K.M., Suslov V.Yu. *Fundamentals of software quality engineering*. (Kyiv, 2007). [Андон Ф.И., Коваль Г.И., Коротун Т.М., Лаврищева К.М., Суслов В.Ю. *Основы инженерии качества программных систем*. К.: Академперіодика, 2007.]
9. Khimich A.N., Molchanov I.N., Popov A.V., Chistyakova T.V., Yakovlev M.F. *Parallel algorithms for solving problems in computational mathematics*. (Kyiv, 2008).

- [Химич А.Н., Молчанов И.Н., Попов А.В., Чистякова Т.В., Яковлев М.Ф. *Параллельные алгоритмы решения задач вычислительной математики*. К.: Наукова думка, 2008.]
10. Nikolaevskaya E., Khimich A., Chistyakova T. *Programming with Multiple Precision*. (Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2012).
11. Letichevsky A.A. Insertion modeling. *Control Systems and Computers*. 2012. (6): 3.
[Летичевский А.А. Инсерционное моделирование. *Управляющие системы и машины*. 2012. № 6. С. 3–14.]
12. Khimich A.N., Molchanov I.N., Mova V.I. Numerical software of MIMD-computer Inparkom. (Kyiv, 2007).
[Химич А.Н., Молчанов И.Н., Мова В.И. и др. *Численное программное обеспечение MIMD-компьютера Инпарк-ком*. К.: Наук. думка, 2007.]

Стаття надійшла 15.01.2018.

I.V. Sergienko

Glushkov Institute of Cybernetics of the National Academy of Sciences of Ukraine (Kyiv)

MATHEMATICAL AND PROGRAM MODELLING OF COMPLICATED SYSTEMS USING SUPERCOMPUTER TECHNOLOGIES

The efficiency of using supercomputer technologies is considered from the point of view of implementation of basic paradigms of the mathematical modelling: high-performance computing, computer mathematics and software. The efficient implementation of these factors enables to re-distribute the work on formulating and solving of problems between the user and computer in comparison with traditional technologies; to automate the process of investigating and solving of problems; to provide both the reliability of computer solutions and considerable reduction of time required by mathematical modelling.

Keywords: supercomputer technologies, high-performance computing, personal supercomputer.