

**О.М. Хіміч, І.М. Молчанов, В.І. Мова, О.О. Ніколайчук,
О.В. Попов, Т.В. Чистякова, М.Ф. Яковлев, В.Г. Тульчинський, Р.А. Ющенко**

Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України, просп. Академіка Глушкова, 40, Київ-187, 03187, Україна
тел.: +38 (044) 526-60-88, факс +38 (044) 526-41-78

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИЙ ПЕРСОНАЛЬНИЙ СУПЕРКОМП'ЮТЕР ДЛЯ РОЗВ'ЯЗУВАННЯ НАУКОВО-ТЕХНІЧНИХ ЗАДАЧ



Розроблено новий вітчизняний інтелектуальний персональний суперкомп'ютер гібридної архітектури Інпарком_рр, призначений для математичного моделювання процесів в оборонній галузі, галузях машинобудування, будівництва тощо. Створено інтелектуальне програмне забезпечення для автоматичного дослідження та розв'язування задач обчислювальної математики з наближеними даними різної структури. Реалізовано прикладне програмне забезпечення для математичного моделювання задач у будівництві, електрозварюванні та процесах фільтрації.

Ключові слова: математичне моделювання, інтелектуальний комп'ютер, гібридна архітектура, обчислювальна математика, наближені дані.

Математичне моделювання та пов'язаний з ним комп'ютерний експеримент наразі є одним з основних засобів вивчення різноманітних явищ природи, процесів у суспільстві, економіці, науці та техніці. Обчислювальний експеримент при створенні нових зразків енерго- і ресурсозберігаючих об'єктів істотно скорочує час і вартість створюваних об'єктів. Це дозволяє ефективно планувати натурні експерименти і дає змогу розглядати декілька варіантів створюваних об'єктів для вибору найкращого.

На сьогодні зростання продуктивності комп'ютерів досягається за рахунок розпаралелювання обчислень, яке базується на використанні комп'ютерів з багатьма процесорними пристроями, зокрема з багатоядерними процесорами. Наприкінці 2014 р. фірма Intel анонсувала лінійку процесорів з кількістю ядер від 4 до 18, а на початку 2016 р. — від 4 до 22. Від-

значимо, що в цих процесорах реалізується MIMD-архітектура (архітектура з множинним потоком команд і даних). Водночас вимоги до високопродуктивних обчислень набагато випереджають можливості традиційних паралельних комп'ютерів, незважаючи на багатоядерність процесорів.

Розв'язання проблеми прискорення обчислень на багатоядерних комп'ютерах при виконанні великих обсягів однорідних арифметичних операцій здійснюється за допомогою техніки GPGPU (General-Purpose Computing on Graphics Processing Units), тобто обчислення загального призначення на графічних процесорах. Використання цієї техніки дало поштовх до розвитку спеціалізованих графічних процесорів. Як відомо, на графічних процесорах реалізується SIMD-архітектура паралельних обчислень. Майбутнє обчислювальної техніки в найближчій перспективі, на наш погляд, — це гібридні системи, які поєднують MIMD- і SIMD-архітектури, тобто обчислення на багатоядерних комп'ютерах з прискоренням обчислень на GPGPU.

МОТИВАЦІЯ СТВОРЕННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО ПЕРСОНАЛЬНОГО СУПЕРКОМП'ЮТЕРА

Сучасні новітні зразки графічних прискорювачів дозволяють мінімізувати високопродуктивні обчислення в форматі персонального комп'ютера до 2,62 Тфлопс на подвійній розрядності. Отже, є великий стимул реалізувати високопродуктивні обчислення в форматі персонального суперкомп'ютера для індивідуального використання.

Суттєве поліпшення якості математичного моделювання та проектування в оборонній галузі, галузях машинобудування, будівництва і т.д. можливе тільки за умов використання принципово нових тривимірних моделей, переходу від комп'ютерного моделювання окремих вузлів та агрегатів до розрахунку та оптимізації виробу в цілому.

Характерною особливістю математичних моделей прикладних задач є те, що крім математичних рівнянь, які описують моделі тих чи інших об'єктів та явищ, необхідно враховувати і похибку вихідних даних [1–4]. Ключовою проблемою процесу чисельного моделювання, що акумулює в собі вплив усіх інших факторів, є проблема вірогідності комп'ютерних розв'язків. Існування та важливість цієї проблеми підтверджує хоча б той факт, що вже більше двадцяти років в 30 країнах світу функціонують робочі групи NAFEMS (National Agency Finite Element Methods and Standards, UK), основне завдання яких забезпечити надійність та безпеку інженерних розрахунків за допомогою методу скінченних елементів та пов'язаних з ним технологій.

Для паралельних комп'ютерів крім вищезгаданих проблем стають ще й проблеми, пов'язані з розробкою паралельних алгоритмів та програмного забезпечення, що враховують архітектуру і технічні особливості таких комп'ютерів, вибір необхідної кількості процесів, розподіл даних задачі між процесами, синхронізацію обчислень і обмінів тощо [5–7]. Створення алгоритмів і програм з паралель-

ною організацією обчислень потребує значного часу і дуже високої кваліфікації користувачів. Проблему отримання достовірних комп'ютерних розв'язків, скорочення часу постановки і розв'язування задач науки і інженерії за рахунок використання комп'ютерів для дослідження властивостей комп'ютерних моделей задач і створення програм паралельних обчислень можуть вирішити інтелектуальні комп'ютери [8–10].

У рамках виконання інноваційного науково-технічного проекту «Розробка апаратно-програмного комплексу на базі інтелектуального персонального суперкомп'ютера гібридної архітектури для математичного моделювання в оборонній галузі, галузях машинобудування та будівництва» Інститутом кібернетики ім. В.М. Глушкова НАНУ спільно з ДНВП «Електронмаш» було розроблено концепцію та створено експериментальний зразок інтелектуального персонального суперкомп'ютера гібридної архітектури Інпарком_rg для розв'язування науково-технічних задач.

КОНЦЕПЦІЯ РОЗРОБКИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО ПЕРСОНАЛЬНОГО СУПЕРКОМП'ЮТЕРА

Новизна створення та застосування інтелектуального персонального суперкомп'ютера полягає в реалізації трьох основних парадигм математичного моделювання: *комп'ютерна математика, високопродуктивні обчислення і інтелектуалізація програмного забезпечення*. Реалізація цих чинників дає можливість істотно перерозподілити роботу по постановці і розв'язуванню задач між користувачем і комп'ютером у порівнянні з традиційними комп'ютерними технологіями, скоротити терміни розробки застосувань для розв'язування науково-технічних задач і підвищити якість комп'ютерних розв'язків [10].

Математичні моделі, що описують прикладні задачі, завжди містять похибки в початкових даних. Але в переважній більшості існуючого програмного забезпечення, яке використовується при дослідженні математич-

них задач, неявно передбачається, що початкові дані задані точно. Характерною особливістю математичних моделей з наближеними даними є те, що їх математичні властивості апріорі невідомі. У межах заданого рівня похибки можуть бути як сумісні, так і несумісні задачі, як коректно, так і некоректно поставлені, як погано, так і добре обумовлені. При цьому комп'ютерна задача, яку зрештою і доводиться розв'язувати, завжди має наближений по відношенню до початкової задачі характер (через спадкову похибку в початкових даних, через похибку дискретизації, через похибку отримання (введення) числових даних в комп'ютер) [1, 5, 7].

У цьому випадку надзвичайно ускладнює ситуацію той факт, що велика математична відмінність між матрицями повного і неповного рангу існує тільки в математично ідеальному світі дійсних чисел. Оскільки дії над матрицями проводяться з округленням, то ця відмінність стає невизначеною. Таким чином, невироджена матриця може стати в комп'ютері виродженою. З іншого боку, дуже ймовірно, що вироджена матриця за рахунок похибки заокруглень насправді буде перетворена на близьку, але невироджену.

Аналіз особливостей реалізації комп'ютерної арифметики показав [1] її відмінність від традиційної арифметики, яка пов'язана як з представленням з заокругленням дійсних чисел в комп'ютері, так і з виконанням арифметичних дій в комп'ютері, а саме виконанням законів асоціативності, дистрибутивності, комутативності тощо. Таким чином, аксіоматика математики, у т.ч. обчислювальної математики, відрізняється від аксіоматики комп'ютерної математики.

Рішення проблеми полягає в тому, щоб у машинному середовищі визначити властивості комп'ютерної задачі і сформувані машинний алгоритм отримання наближеного розв'язку математичної задачі як для коректних задач, так і для некоректних, як погано, так і добре обумовлених. Тому для кожного класу мате-

матичних задач з наближеними даними, які розглядаються в даній роботі, створено комп'ютерний інструментарій для дослідження математичних властивостей машинних моделей задач, побудови комп'ютерного алгоритму їх розв'язування з урахуванням структури і архітектури комп'ютерів і оцінки достовірності отриманих результатів [3, 7].

Таким чином, основними принципами концепції створення інтелектуального суперкомп'ютера гібридної архітектури є:

- ✦ автоматизація процесу адаптивного підходу до побудови ефективної топології гібридного комп'ютера на основі комп'ютерних методів дослідження математичних властивостей машинних моделей задач;
- ✦ забезпечення вимог до точності обчислень (програмно або апаратно) у відповідності до властивостей комп'ютерної моделі задачі на основі багаторозрядної арифметики, отримання комп'ютерного результату з оцінкою достовірності;
- ✦ оптимізація обчислень за рахунок нових оригінальних гібридних методів обробки розріджених структур даних, адаптованих до новітніх зразків графічних прискорювачів NVIDIA Tesla на базі архітектури Kepler та архітектури Інпарком_pg, а також останніх версій програмного забезпечення CUDA;
- ✦ віртуалізація обчислень з забезпеченням багатоопераційності, системного моніторингу, підтримки ґрид-інфраструктури.

Висока продуктивність інтелектуального суперкомп'ютера (до 3–9 Тфлопс) в форматі персонального комп'ютера досягається за рахунок програмних та апаратних засобів мінімізації обчислень, інтелектуалізації процесу розв'язування задач та віртуалізації прикладного програмного забезпечення. Крім того, висока продуктивність досягається за рахунок використання інтелектуального алгоритмічного та програмного забезпечення для дослідження та розв'язання базових задач обчислювальної математики з наближеними даними, в т.ч. обробки розріджених структур даних



Рис. 1. Складові частини Інпарком_pg



Рис. 2. Системний блок Інпарком_pg

на основі структурної регуляризації. Інтелектуальний персональний суперкомп'ютер займає нішу між суперкомп'ютерами та сучасними персональними комп'ютерами.

За такими принципами створено експериментальний зразок інтелектуального персонального суперкомп'ютера – Інпарком_pg.

АРХІТЕКТУРА ТА СКЛАД ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО ПЕРСОНАЛЬНОГО СУПЕРКОМП'ЮТЕРА

Суперкомп'ютер Інпарком_pg є продуктом розвитку ідеології сімейства інтелектуальних комп'ютерів Інпарком, створених Інститутом кібернетики спільно з ДНВП «Електронмаш» в 2005–2012 рр. в напрямку мінімізації обчислень за рахунок новітніх високопродуктивних графічних прискорювачів і сучасних чисельних методів, технологій обробки та зберігання значних обсягів інформації, а також віртуалізації прикладного програмного забезпечення [11–13].

Інпарком_pg – це орієнтований на знання комп'ютер, який дає можливість в ході розв'язування інженерних та наукових задач отримати знання про властивості комп'ютерної моделі задачі та у відповідності з цими властивостями автоматично побудувати алгоритм, програму, сформувані топологію гібридного комп'ютера, а по закінченню процесу обчислень оцінити достовірність отриманих результатів.

Апаратне забезпечення інтелектуального гібридного персонального суперкомп'ютера має такі складові частини: *системний блок, монітор, клавіатура, маніпулятор «миша», джерело безперебійного живлення, принтер зі сканером* (або МФУ за бажанням) (див. рис. 1).

Склад системного блоку (рис. 2) адаптований до розв'язання задач науки і інженерії, а саме: від 2 до 4 новітніх графічних процесорів NVIDIA Tesla K40 з піковою швидкістю 1.43 Тфлопс та 12 Гбайтами пам'яті кожен, швидкісний SSD-диск, оперативна пам'ять об'ємом більше 64 Гбайт.

Такі технічні характеристики персонального суперкомп'ютера Інпарком_pg перевищують швидкість персонального комп'ютера (4-ядерного) приблизно в 100 раз на подвійній розрядності. Інакше кажучи, час розв'язання прикладної задачі (середньої складності) скорочується з п'яти діб до однієї години.

АРХІТЕКТУРА СИСТЕМНОГО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО СУПЕРКОМП'ЮТЕРА

Архітектура системного програмного забезпечення персонального суперкомп'ютера Інпарком_рг враховує декілька режимів використання, які пов'язані з особливостями прикладного програмного забезпечення:

- ✦ робота користувача безпосередньо на комп'ютері;
- ✦ віддалений робочий стіл;
- ✦ сервіс для виконання обчислень.

На рис. 3 показана схема архітектури, яка складається з операційної системи, засобів віртуалізації, компіляторів та бібліотек.

Основою архітектури є операційна система Linux, яка забезпечує засоби розробки і виконання програм на фізичному обладнанні. Крім того, до складу операційної системи входять засоби віртуалізації, що дозволяють прикладним програмам виконувати роботу графічного проектування моделей в природному для них середовищі. Всі обчислювальні програми виконуються в Linux під управлінням системного моніторингу на фізичному обладнанні, забезпечуючи максимальну ефективність роботи користувача [14].

Віртуальна машина — це технологія, фундаментальна ідея якої полягає в абстрагуванні обладнання комп'ютера (процесор, пам'ять, диски, мережа і т.д.) таким чином, щоб він міг мати кілька середовищ виконання, тобто створюється ілюзія, що кожне з цих середовищ виконується на окремому фізичному обладнанні. Використання віртуальної машини дає можливість в повній мірі враховувати специфіку прикладного програмного забезпечення, використовувати ресурси фізичної машини на вимогу. Віртуальні машини мають доступ до фізичної машини за допомогою віртуальної мережі і водночас можуть виконувати обчислення на фізичній машині. Таким чином, користувач може працювати з прикладним програмним забезпеченням, використовуючи графічний інтерфейс операційної системи фізичної машини, і при потребі використовувати менеджер управління вірту-

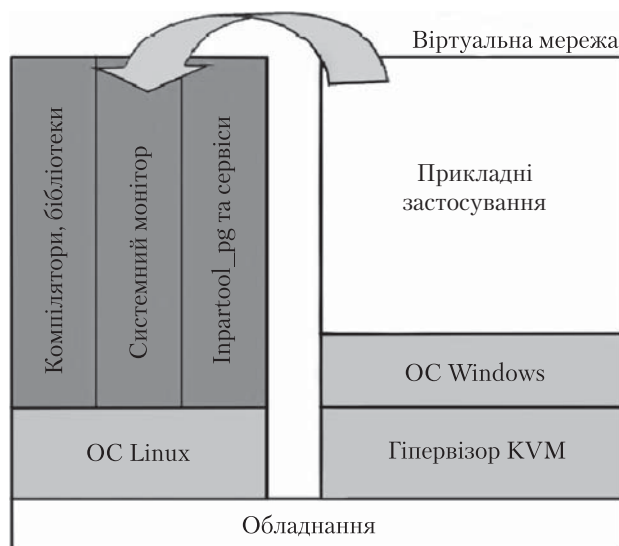


Рис. 3. Архітектура системного програмного забезпечення

альними машинами. Користувач може працювати з прикладним програмним забезпеченням, віддалено використовуючи VNC (для Linux) або віддалений робочий стіл (Windows).

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНЕ ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ РОЗВ'ЯЗУВАННЯ НАУКОВО-ТЕХНІЧНИХ ЗАДАЧ

Для програмно-технічного комплексу, що розглядається, створено інтелектуальне чисельне програмне забезпечення для дослідження і розв'язування основних класів задач обчислювальної математики з наближеними даними [15].

До складу інтелектуального програмного забезпечення входить бібліотека інтелектуальних програм Inparlib_pg для дослідження і розв'язування задач таких класів: системи лінійних алгебраїчних рівнянь, алгебраїчна проблема власних значень, системи нелінійних рівнянь, системи звичайних диференціальних рівнянь з початковими умовами, а також інтелектуальний програмний засіб Inpartool_pg, що реалізує постановку задачі на мові предметної області, автоматичне виконання (без втручання користувача) процесів дослідження та розв'язування задач обчислювальної математики з оцінками достовірності результатів.

Бібліотека інтелектуальних програм `Inparlib_pg`

Інтелектуальна програма — це програма, що реалізує розв'язування задачі конкретним алгоритмом. У ході виконання задачі програма перевіряє відповідність обраного користувачем алгоритму розв'язування властивостям комп'ютерної моделі задачі, формує в автоматичному режимі ефективну конфігурацію гібридного комп'ютера з мінімальними затратами машинного часу та оптимальної кількості ядер центрального процесора (CPU) і графічних процесорів (GPU), розсилає вихідні дані в пам'ять процесорів, розв'язує задачу і оцінює достовірність отриманого в комп'ютері розв'язку. При цьому забезпечується рівномірне завантаження процесів, синхронізація обмінів даними між CPU та GPU, оптимізація комунікаційних втрат, які обумовлені необхідністю обмінів інформацією між ними.

З точки зору використання програми бібліотеки `Inparlib_pg` входять до функціонального наповнення інтелектуального засобу `Inpartool_pg`, а також є повторно використовуваними самостійними компонентами при розв'язуванні прикладних задач, де задачі обчислювальної математики є проміжним або завершальним етапом.

При створенні гібридних алгоритмів та програм передбачено, що виконання алгоритму може бути розподілене на процеси, які будуть виконуватися на ядрах CPU (по одному процесу на ядро). Під процесом розуміють програму, що виконується на ядрі та використовує для своєї роботи частину локальної пам'яті і містить ряд операцій прийому/передачі даних для організації інформаційної взаємодії між процесами паралельної програми. Розпаралелення обчислень між процесами на CPU здійснюється за допомогою системи MPI.

Кожен процес, в свою чергу, має можливість розпаралелювати обчислення на деяку кількість ниток на GPU, причому, як правило, використовується один GPU. Отже, при розробці гібридного алгоритму необхідно передбачити

розподіл задачі на підзадачі з метою визначення: пріоритетів підзадач; на яких обчислювальних ресурсах їх краще реалізовувати за часом виконання; які підзадачі можна виконати паралельно; в якій послідовності їх треба виконувати тощо. Таким чином, гібридний підхід передбачає два рівня паралелізму: *паралелізм між підзадачами* та *паралелізм всередині підзадачі*.

При реалізації підзадач на CPU необхідно враховувати особливості зв'язків між процесорами та між ядрами всередині процесорів. На взаємозв'язки між процесами під час виконання задачі витрачається значна частина часу. Тому дуже важливо визначити найбільш ефективну топологію для конкретної задачі, оптимальну кількість CPU (тобто процесів) та способи взаємозв'язків між ними. Система MPI дає можливість створювати віртуальні топології з визначеної кількості ядер (процесів). Під віртуальною топологією розуміємо топологію зв'язків між процесами, що створюється програмно: кільце, решітка, тор, гіперкуб тощо. Модель віртуальної топології можна представити у вигляді графа, вузлами якого є процеси, а гранями — зв'язки між ними. Таким чином, користувачу не потрібно знати схему фізичних зв'язків між ядрами, що значно спрощує процес написання паралельної програми. Але користувач повинен визначити необхідну кількість ядер для розв'язування задачі та розподілити вихідні дані між ними, забезпечуючи рівномірне їх завантаження. Оскільки операції пересилки даних за тривалістю значно перевершують арифметичні операції та операції звернення до пам'яті, то необхідно передбачити таке розміщення даних в пам'яті процесорів, при якому співвідношення пересилки даних та арифметичних операцій, що одночасно виконуються, буде збалансованим і мінімізуватиме загальний час виконання програми.

При розробці алгоритмів для гібридної архітектури необхідно враховувати відмінність в організації пам'яті на CPU та GPU. Програми, які реалізують розв'язування задач на CPU, можуть звертатися безпосередньо до будь-яких осеред-

ків лінійної і однорідної пам'яті. Крім того, процесори сучасних комп'ютерів мають внутрішні кеші інструкцій та даних досить великих розмірів, за рахунок яких можна значно підвищити швидкодію алгоритмів та програм на CPU.

Швидкодія графічних процесорів значно перевищує швидкодію CPU. Реалізація розпаралелення обчислень на GPU здійснюється за допомогою технології NVIDIA CUDA. На GPU є шість видів пам'яті, кожна з яких має своє призначення та швидкодію. Основні проблеми паралельних обчислень для комп'ютерів гібридної архітектури пов'язані з необхідністю володіти різними інструментами для розпаралелення задач на CPU та GPU з узгодженням розподілу обчислювальних ресурсів між ядрами процесорів та графічними процесорами, а також оптимізацією комунікаційних витрат між CPU та GPU. Крім того, одним із важливих завдань розробників програмно-алгоритмічного забезпечення є виявлення, для яких підзадач в кожному алгоритмі виконання буде ефективним на CPU, а для яких — на GPU.

Інтелектуальний програмний засіб Inpartool_pg

Inpartool_pg — це інтелектуальний програмний засіб рівня кінцевого користувача, що забезпечує спілкування користувача з комп'ютером мовою предметної області і забезпечує автоматизацію всіх етапів розв'язування задачі на комп'ютері (алгоритмізація, програмування, виконання завдання в умовах наближених вихідних даних з аналізом достовірності комп'ютерних розв'язків) [15].

Основні концептуальні засади технологічної схеми розв'язування задач в інтелектуальному інтерфейсі такі:

- ✦ можливість розв'язування задач з наближеними вихідними даними;
- ✦ постановка задачі на мові предметної області;
- ✦ природні для користувача форми введення вихідних даних задачі;
- ✦ автоматизація процесів комп'ютерного дослідження математичних властивостей за-

- дачі, вибору алгоритму і синтезу програми розв'язування на основі знань про предметну область та про задачу, що розв'язується;
- ✦ розв'язування задачі з оцінкою достовірності одержуваних комп'ютерних результатів;
- ✦ отримання не тільки розв'язку задачі, але і протоколу процесу дослідження її властивостей та оцінок достовірності отриманих результатів;
- ✦ реалізація принципу «прихованого паралелізму».

Реалізація «прихованого паралелізму» передбачає [15]:

- ✦ автоматичне розпаралелення гібридної програми між CPU та GPU;
- ✦ автоматичне визначення необхідних обчислювальних елементів CPU та GPU, побудову ефективної конфігурації комп'ютера для даної задачі;
- ✦ автоматичний розподіл вихідної інформації по процесах у відповідності до вимог кожного з алгоритмів;
- ✦ рівномірне завантаження процесів, що використовуються при розв'язуванні задачі;
- ✦ синхронізацію обмінів між процесами;
- ✦ асинхронне виконання операцій;
- ✦ мінімізацію обмінів між процесами.

Таким чином, для користувача забезпечується така технологія роботи на персональному суперкомп'ютері Inpartool_pg з багатоядерними і графічними процесорами, як і на однопроцесорному комп'ютері.

Inpartool_pg реалізує концепцію знань. Його розробка заснована на синтезі основних досягнень в області модульного програмування, баз даних, баз знань і спирається на розвинуті методи обробки знань: їх подання, зберігання, одержання нових знань і т. д.

Архітектура інтелектуального програмного засобу створювалася на формальних моделях предметних областей: основні задачі обчислювальної математики, методи та алгоритми їх розв'язування на гібридному комп'ютері. Формальна модель тісно пов'язана з принципами автоматичного дослідження властивостей ком-

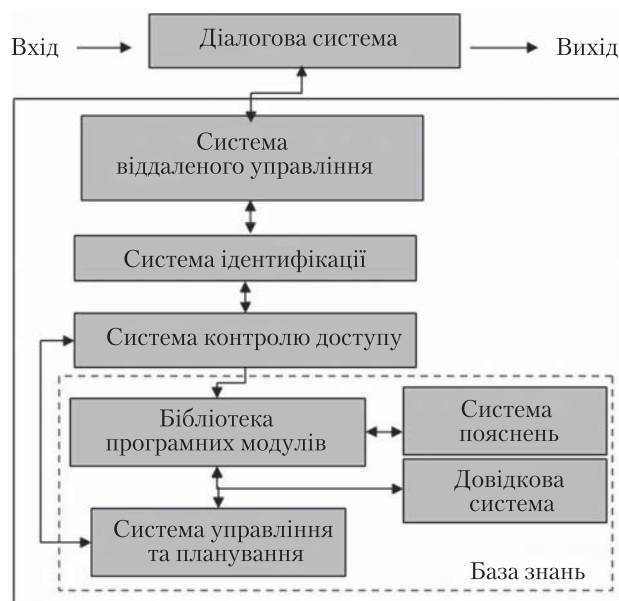


Рис. 4. Клієнт-серверна архітектура Inpartool_pg

п'ютерної моделі задачі з метою автоматичної побудови необхідного алгоритму та синтезу гібридної програми розв'язування з урахуванням наближеного характеру вхідних даних, математичних та технічних особливостей гібридного комп'ютера.

Крім того, при створенні архітектури програмного засобу передбачено використання Inpartool_pg в мережі Інтернет. Цей програмний засіб має клієнт-серверну архітектуру. Клієнтська частина складається лише з діалогової системи, а до серверної частини належать системи, що забезпечують доступ користувачів до інтелектуального засобу в Інтернеті, а також системи, за допомогою яких реалізується дослідження і розв'язування задач з наближеними даними на гібридному комп'ютері. На рис. 4 схематично наведено клієнт-серверну архітектуру Inpartool_pg.

Системи віддаленого управління, ідентифікації та контролю доступу забезпечують доступ користувача до Inpartool_pg як локально, так і в мережі Інтернет.

Система управління і планування тісно пов'язана з формальним описом предметної об-

ласті (у вигляді семантичної схеми або графу) з кожного класу задач, базою знань і діалоговою системою. Головна мета планування обчислень — пошук оптимального шляху розв'язування поставленої задачі при мінімальному втручанні користувача в процес обчислень.

Принципи автоматичного дослідження і розв'язування задач на комп'ютері з автоматичним аналізом достовірності результатів визначають такі вимоги до плануючої і управляючої систем:

- ✦ аналіз вхідних даних задачі та їх модифікація до структури первинних знань про властивості задачі та алгоритм її розв'язування;
- ✦ надання можливостей зберігати і обробляти знання з предметної області при плануванні обчислень;
- ✦ модифікація одержаних знань про властивості задачі для побудови необхідного алгоритму та синтезу програми розв'язування;
- ✦ автоматичний розподіл вхідних даних по процесах;
- ✦ видача і збереження результатів дослідження і розв'язування для подальшого їх пояснення і візуалізації.

Після введення та аналізу вхідних даних задачі за графом формальної моделі визначаються програмні модулі, необхідні для проведення дослідження властивостей задачі. За результатами дослідження автоматично будується необхідний алгоритм і синтезується програма розв'язування. При цьому визначаються необхідні обчислювальні ресурси, будується необхідна топологія і процес обчислень продовжується далі за графом. Зв'язок між програмними модулями, що приймають участь в обчислювальному процесі, встановлюється за даними і за управлінням.

Пояснювальна система відповідає на питання: як було одержано розв'язок задачі і чому був вибраний такий шлях процесу дослідження властивостей та видає отриманий розв'язок з оцінками достовірності або пояснює причини відмови в його отриманні. Користувач може управляти мірою подробиць пояснень. Для цього розроблено різні сценарії пояснень, протоколи обчислювального процесу різних рівнів.

Довідкова система дає можливість користувачу отримати всю необхідну інформацію для того, щоб працювати з Inpartool_pg.

За допомогою діалогових засобів здійснюється взаємодія між користувачем та Inpartool_pg, а саме:

- ✦ постановка задачі і введення вхідних даних;
- ✦ взаємодія в ході обчислювального процесу;
- ✦ візуалізація отриманих результатів;
- ✦ доступ до блоку пояснень;
- ✦ отримання інформаційно-довідкових відомостей.

Сценарії діалогу розроблено з урахуванням моделі предметної області, а також різних цілей та рівня підготовки користувачів до використання інтелектуального програмного засобу: передбачено розв'язування задачі повністю автоматично, без втручання користувача, а також інтерактивне — з деяким втручанням користувача. При цьому задовольняються такі вимоги: спілкування на мові предметної області, зручні форми введення/виводу інформації, виключення паперової документації.

ПРИКЛАДНЕ ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

За десятиріччя використання комп'ютерів для розв'язування широкого кола різноманітних прикладних задач створено велику кількість програмних засобів (від окремих програм до програмних комплексів). У переважній більшості ці програмні засоби призначено для комп'ютерів традиційної архітектури (які не використовують паралельні обчислення). Тому адаптація цих програмних засобів для використання на комп'ютерах гібридної архітектури вимагає їх суттєвої модернізації і під силу розробникам прикладного забезпечення лише світового рівня.

Прикладом такого підходу є програмний комплекс (ПК) ANSYS [16]. Цей програмний комплекс призначено для розв'язування широкого кола задач математичного моделювання в галузях обчислювальної аерогідродинаміки, механіки твердих тіл, що деформуються, електромагнетизму тощо. Розробники цього ПК до-

повнили його (напр., версію ANSYS® 16.1) засобами паралельних обчислень для задач аерогідродинаміки — паралельних розрахунків як на локальних робочих станціях, так і на розподілених ресурсах з підтримкою багатоядерних та графічних процесорів.

Інший підхід — адаптація до паралельних, в т.ч. гібридних, обчислювальних систем існуючих ПК з послідовною організацією обчислень шляхом використання інтелектуального програмного забезпечення (зокрема програмних модулів бібліотеки Inparlib_pg), наприклад для таких підзадач: розв'язування систем лінійних алгебраїчних рівнянь (СЛАР), що потребують найбільше комп'ютерних ресурсів — часу, пам'яті тощо. Умовою реалізації цього підходу є доступ до вихідного програмного коду. Якщо оригінальний програмний засіб призначено для операційного середовища Windows, то розроблена технологія передбачає використання на Інпарком_pg віртуальних машин з ОС Windows та передачу через віртуальну мережу даних для програмних модулів бібліотеки Inparlib_pg, яка призначена для використання в операційному середовищі Linux. Далі розглянемо три приклади реалізації такого підходу.

Інформаційна технологія аналізу міцності будівельних конструкцій ПК Ліра_g

Задачі розрахунку міцності конструкцій та споруд виникають у багатьох галузях народного господарства, зокрема в будівництві, в різних галузях машинобудування тощо. Зростаючі вимоги до якості проектних рішень, а також використання нових конструктивних матеріалів викликає необхідність у розв'язуванні якісно нових задач. Крім того, існує необхідність виконання розрахунків складних унікальних конструкцій. Тому зростає потреба в нових методах і підходах, пов'язаних з побудовою і дослідженням коректних комп'ютерних моделей, які адекватно відображають реальну роботу конструкцій.

На основі ПК ЛІРА [17], призначеного для розв'язування задач розрахунку міцності буді-

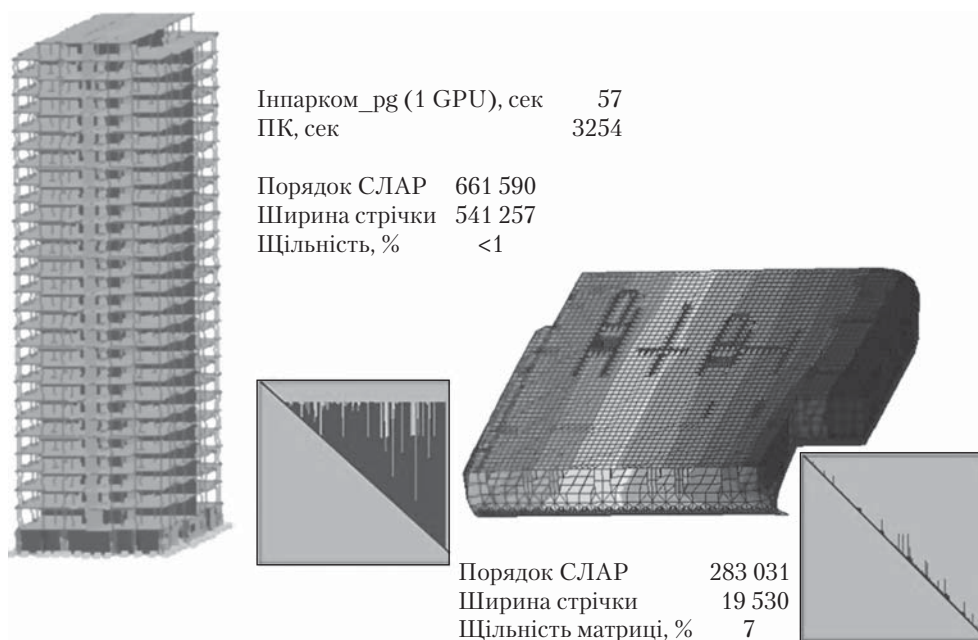


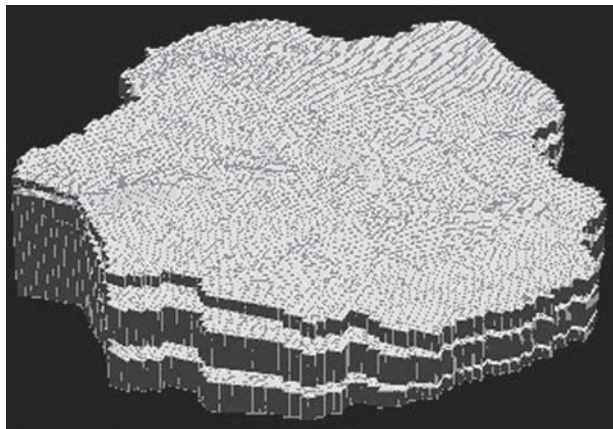
Рис. 5. Результати розв'язування СЛАР в ПК Ліра_g

вельних конструкцій на персональних комп'ютерах, розроблено ПК ЛІРА-кластер для кластерних комплексів [18]. Але ПК ЛІРА-кластер широко використовує мережеві технології, а основний режим роботи користувача — це режим віддаленого доступу, який передбачає копіювання надвеликих обсягів даних на кластерний комплекс та у зворотному напрямку, до того ж такий режим не забезпечує конфіденційності розрахунків. Використання одноузлового персонального суперкомп'ютера гібридної архітектури Інпарком_pg дозволяє використовувати високопродуктивні обчислення локально. На Інпарком_pg створено інформаційну технологію аналізу міцності будівельних конструкцій — ПК Ліра_g, яка полягає ось у чому. На віртуальній машині в операційному середовищі Windows стандартний ПК ЛІРА у звичному режимі готує файли даних для паралельних обчислень. Після того як файли сформовано, вони з використанням віртуальної мережі копіюються в операційне середовище Linux, де одразу ж запускається відповідна гібридна програма, яка

розподіляє дані між обчислювальними пристроями і проводить обчислення. По закінченню роботи цієї програми формуються файли результатів у форматі ПК ЛІРА. Вони копіюються на віртуальну машину, після чого ПК ЛІРА продовжує роботу, використовуючи надіслані файли. Результати розв'язування СЛАР в ПК Ліра_g наведені на рис. 5.

Інформаційна технологія моделювання просторових процесів тепломасопереносу — ПК Надра-3D_g

Багато задач чисельного моделювання фізичних процесів розв'язується з використанням методу скінченних елементів. У Інституті кібернетики створено скінченно-елементний розв'язувач Надра-3D [19] для математичного моделювання процесів масопереносу, зокрема для моделювання процесу фільтрації в багатоконпонентних геологічних середовищах Чернігівського родовища підземних вод. Розрахункові сітки тетрадральних скінченних елементів будувалися для тривимірної моделі регіону, що враховує геометрію залягання шарів



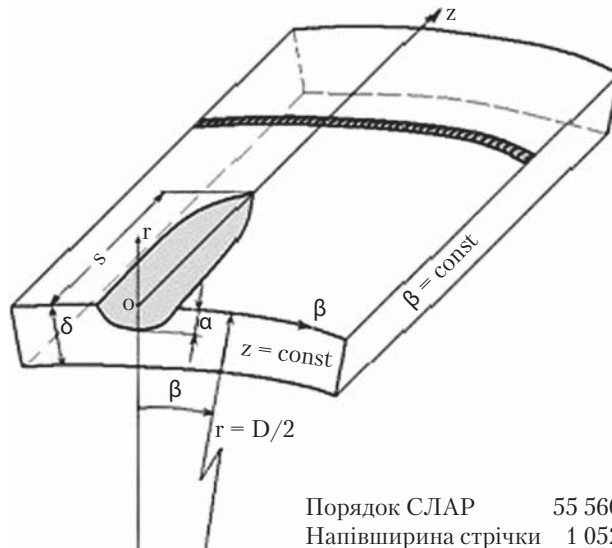
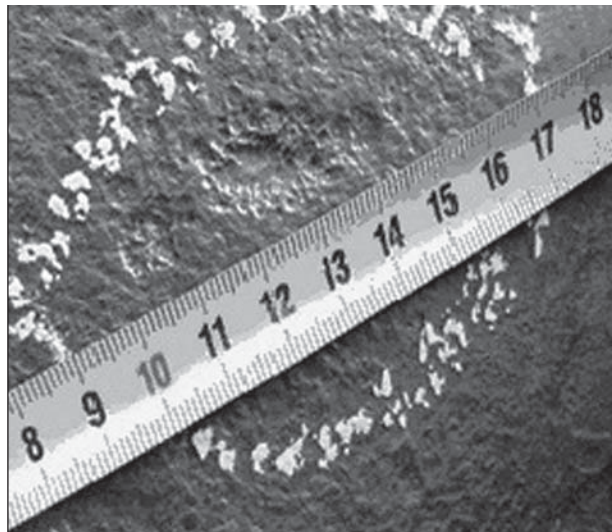
Набір моделей геометрії водоносних шарів Чернігівського регіону з розгалуженою мережею поверхневих водотоків (площа поверхні: $184\,000 \times 222\,000$ м)

Час розв'язування:
 Інпарком_pg (1 GPU), сек 65
 ПК (8 ядер), сек 1 266
 Розмір СЛАР:
 порядок системи 1 151 112
 напівширина стрічки 5 367
 об'єм пам'яті, Гбайт 20

Рис. 6. Моделювання фільтрації в багатокомпонентних середовищах за допомогою ПК Надра-3D_g

породи, зони зміни параметрів в межах кожного шару, конфігурацію мережі поверхневих річок. Ця задача зводиться до розв'язування СЛАР зі стрічковими матрицями великих розмірів. На Інпарком_pg створено інформаційну технологію ПК Надра-3D_g моделювання просторових процесів тепломасопереносу для розрахункових мереж різної детальності (від 400 тис. до 1,5 млн невідомих), в якій дослідження та розв'язування лінійних систем зі стрічковими матрицями з оцінками достовірності результатів виконується з використанням відповідних гібридних програм з бібліотеки Inparlib_pg (рис. 6).

Використання гібридного алгоритму розв'язування СЛАР дало змогу значно (в десятки разів) зменшити час моделювання методом скінченних елементів на великих обчислювальних мережах (порядки СЛАР, які розв'язувалися, — 10^6 – 10^{12}).



Порядок СЛАР 55 560
 Напівширина стрічки 1 052

Рис. 7. Математичне моделювання напружено-деформованого стану зварних конструкцій за технологією Weld-Predictions_g

**Інформаційна технологія
 для математичного моделювання процесів
 зварювання та споріднених технологій**

Діагностика технічного стану зварних конструкцій, що працюють при істотних зовнішніх навантаженнях і в умовах агресивних середовищ, є ключовим аспектом гарантування їх безпечної експлуатації. Оскільки області застосування таких конструкцій (атомна і теплова

енергетика, трубопровідний транспорт) передбачають високі вимоги до їх довгострокової надійності, то важливою умовою є якомога точніше визначення граничного стану, виходячи з відомого ступеня експлуатаційного пошкодження, до якого, передусім, слід віднести локальні поверхневі корозійні втрати металу.

Для розв'язування практичних задач, пов'язаних з термомеханічними процесами у зварюванні та при наступній експлуатації зварних конструкцій, в Інституті електрозварювання ім. Е.О. Патона НАН України розроблено програмний пакет «WeldPredictions». Цей пакет реалізує послідовну модель обчислень і використовується на персональних комп'ютерах. Але розрахунок тривимірних моделей вищеназаних процесів вимагає значних обчислювальних ресурсів (до декількох днів неперервних обчислень). Тому було розроблено технологію WeldPredictions_g [20] розв'язування таких задач на Інпарком_pg з використанням необхідних гібридних програм з бібліотеки Inparlib_pg для розв'язування СЛАР, які виникають при цьому (рис. 7).

Завдяки застосуванню технології WeldPredictions_g на гібридному персональному суперкомп'ютері досягнуто скорочення часу розв'язування в 20–60 разів.

ВИСНОВКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВПРОВАДЖЕННЯ

У результаті виконання інноваційного науково-технічного проекту «Розробка апаратно-програмного комплексу на базі інтелектуального персонального суперкомп'ютера гібридної архітектури для математичного моделювання в оборонній галузі, галузях машинобудування та будівництва» створено гібридний інтелектуальний персональний суперкомп'ютер Інпарком_pg; розроблено низку гібридних алгоритмів та програм для розв'язування задач з різною структурою даних та на їх основі інтелектуальне програмне забезпечення, яке реалізує інноваційну функцію автоматичного адаптивного налаштування алгоритму, програми та архітек-

тури комп'ютера на властивості задачі. При цьому враховується наближений характер вихідних даних та гарантується достовірність отриманих комп'ютерних розв'язків. Створено програмно-алгоритмічне забезпечення обробки розріджених структур даних великої розмірності для математичного моделювання в галузі оборони, машинобудування та будівництва.

Висока продуктивність (до 3 Тфлопс) у форматі персонального комп'ютера досягається за рахунок оптимізації обчислень, новітніх технічних засобів гібридної архітектури, а також віртуалізації прикладного програмного забезпечення.

Основною перевагою інтелектуального паралельного суперкомп'ютера є:

- ✦ звільнення користувачів від роботи по дослідженню задач, створенню гібридних алгоритмів та програм, що скорочує час постановки і розв'язування задач науки і інженерії;
- ✦ постановка в комп'ютері на мові предметної області задачі користувача з наближеними даними;
- ✦ отримання комп'ютерного розв'язку задачі з оцінкою його достовірності;
- ✦ реалізація принципу прихованого паралелізму, що забезпечує режим роботи користувача на паралельному комп'ютері, як і на комп'ютері стандартної однопроцесорної архітектури.

Створений інтелектуальний персональний суперкомп'ютер гібридної архітектури Інпарком_pg може застосовуватися для розв'язування цілого спектру задач математичного моделювання, зокрема в таких областях: машинобудування, ядерна енергетика, авіа- та суднобудування, оборонна галузь, галузь промислового та цивільного будівництва, електрозварювання, економіка тощо.

Експериментальний зразок Інпарком_pg вже використовується на ДНВП «Електронмаш» для проведення наукових досліджень та інженерних розрахунків, зокрема таких задач: аналіз міцності будівельних об'єктів; розрахунок

фільтрації в багатокомпонентних середовищах; математичне моделювання напружено-деформованого стану зварних конструкцій.

Використання Інпарком_{rg} для розв'язування науково-технічних задач дозволяє: суттєво зменшити час розв'язування задач, покращити якість отриманих результатів; зменшити габарити комп'ютера (до формату персонального) за рахунок використання новітніх графічних прискорювачів та забезпечити відносно невисоке енергоспоживання, не зменшуючи його продуктивності.

Комп'ютер Інпарком_{rg} орієнтований на локальне використання (поза комп'ютерними мережами), що є актуальним для кінцевих користувачів, напр., для автоматизації проектування в галузі будівництва з забезпеченням конфіденційності розрахунків.

ЛІТЕРАТУРА

1. Молчанов И.Н. Машинные методы решения прикладных задач. Алгебра, приближение функций. — К.: Наук. думка, 1987. — 288 с.
2. Химич А.Н. Оценки возмущений для решения задачи наименьших квадратов // Кибернетика и системный анализ. — 1996. — № 3. — С. 95–102.
3. Химич А.Н. Оценки полной погрешности решения систем линейных алгебраических уравнений для матриц произвольного ранга // Компьютерная математика. — 2002. — № 2. — С. 41–49.
4. Химич А.Н., Войцеховский С.А., Брусникин В.Н. О достоверности линейных математических моделей с приближенно заданными исходными данными // Математические машины и системы. — 2004. — № 3. — С. 54–62.
5. Михалевич В.С., Молчанов И.Н., Сергиенко И.В. и др. Численные методы для многопроцессорного вычислительного комплекса ЕС / Под ред. И.Н. Молчанова. — М.: Изд-во ВВИА, 1986. — 401 с
6. Молчанов И.Н., Химич А.Н., Попов А.В. и др. Об эффективной реализации вычислительных алгоритмов на МІМD-компьютерах // Искусственный интеллект. — 2005. — № 3. — С. 175–184.
7. Химич А.Н., Молчанов И.Н., Попов А.В., Чистякова Т.В., Яковлев М.Ф. Параллельные алгоритмы решения задач вычислительной математики. — К.: Наук. думка, 2008. — 247 с.
8. Молчанов И.Н. Проблемы интеллектуализации МІМD-компьютеров // Кибернетика и системный анализ. — 1998. — № 1. — С. 37–46.
9. Молчанов И.Н. Интеллектуальные компьютеры — средство исследования и решения научно-технических задач // Кибернетика и системный анализ. — 2004. — № 1. — С. 175–179.
10. Сергиенко И.В., Молчанов И.Н., Химич А.Н. Интеллектуальные технологии высокопроизводительных вычислений // Кибернетика и системный анализ. — 2010. — № 5. — С. 64–176.
11. Молчанов И.Н., Мова В.И., Стрюченко В.А. Интеллектуальные компьютеры для исследования и решения научно-технических задач — новое направление в развитии вычислительной техники // Зв'язок. — 2005. — № 7. — С. 45–46.
12. Перевозчикова О.Л., Тульчинский В.Г., Ющенко Р.А. Построение и оптимизация параллельных компьютеров для обработки больших объемов данных // Кибернетика и системный анализ. — 2006. — № 4. — С. 117–129.
13. Молчанов И.Н., Перевозчикова О.Л., Химич А.Н. Inparcom-16 — интеллектуальная рабочая станция // Кибернетика и системный анализ. — 2007. — № 3. — С. 51–55.
14. Семеренко В.Р., Фальфушинский В.В., Ющенко Р.А. Построение системы управления заданиями для кластеров семейства Инпарком / Труды Международной конференции «ТААПСД'2006» (16–18 мая 2006, Киев) // К.: ПУЛЬСАРИ, 2006. — С. 65–69.
15. Химич А.Н., Молчанов И.Н., Мова В.И. и др. Численное программное обеспечение интеллектуального МІМD-компьютера Инпарком. — К.: Наук. думка, 2007. — 222 с.
16. Каплуи А.Б., Морозов Е.М., Олферьева М.А. ANSYS в руках инженера: Практическое руководство. — М.: Едиториал УРСС, 2003. — 272 с.
17. Городецкий А.С., Евзеров И.Д. Компьютерные модели конструкций, К.: ФАКТ. — 2007. — 394 с.
18. Химич А.Н., Полянюк В.В., Попов А.В., Рудич О.В. Решение задач расчета прочности конструкций на МІМD-компьютере // Искусственный интеллект. — 2008. — № 3. — С. 750–760.
19. Білоус М.В. Скінченно-елементний розв'язувач Надра-3D: моделювання фільтрації води в просторово-плановій постановці / Праці Міжнародної наукової школи-семінару «Питання оптимізації обчислень (ПОО ХLII)» (21–25 вересня 2015 р., с. Чинадієво, Закарпатська обл.) // К.: Вид-во Інституту кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України. — 2015. — С. 168–169.
20. Великованенко Е.А., Миленин А.С., Попов А.В. Сидорук В.А., Химич А.Н. Методи и технологии параллельных вычислений для математического моделирования напряженно-деформированного состояния конструкций с учетом вязкого разрушения // Проблемы управления и информатики. — 2014. — № 6, — С. 42–52.

REFERENCES

1. Molchanov I.N. *Machinye metody reshenija prikladnykh sadach. Algebra, priblizhenie funktsij*. Kyiv: Naukova dumka (Scientific thought), 1987 [in Russian].
2. Khimich A.N. Otsenki vozmushchenii dlja reshenija zadachi naimen'shikh kvadratov. *Kibernetika i sistemnyi analiz* (Cybernetics and systems analysis). 1996. 3: 95–102 [in Russian].
3. Khimich A.N. Otsenki polnoi pogreshnosti reshenija sistem lineinykh algebraicheskikh uravnenii dlja matrits proizvol'nogo ranga. *Komp'yuternaja matematika* (Computer mathematics). 2002. 2: 41–49 [in Russian].
4. Khimich A.N., Voitsekhovskiy C.A., Brusnikin V.N. O dostovernosti lineinykh matematicheskikh modelei s priblizhonno sadannymi iskhodnymi dannymi. *Matematicheskie mashiny i sistemy* (Mathematical Machines and Systems). 2004. 3: 54–62 [in Russian].
5. Mikhalevich V.S., Molchanov I.N., Sergienko I.V., Bik N.A., Burlaka E.N., Burchak O.T., Vijnjuk G.I., Vinokurova I.P., Galba E.F., Geets E.G., Gerasimova T.A., Gershovich V.I., Gorlach S.P., Guljanitskii L.A., Zubatenko V.S., Kalenchuk-Parkhanova Zh.A., Kapitonova J.V., Kaspshchitskaja M.F., Klimashenko J.A., Kuksa A.I., Levchenko I.S., Letichenskii A.A., Luchka A.J., Mazira G.P., Nezlina A.J., Nesterenko A.N., Nikolenko L.D., Noshchenko O.N., Orlova K.F., Platon E.V., Pogrebinskii S.B., Reshetukha I.V., Rudich O.V., Rjabtsev V.E., Semenchenko S.P., Stiranka A.I., Tukalevskaja N.I., Khimich A.N., Khodzinskii F.I., Chernenko A.C., Chistjakova T.V., Shashkina S.I., Shor N.Z., Jakovlev M.F. Chislennye metody dlja mnogoprotsessorogo vychislitel'nogo kompleksa ES. Pod red. I.N. Molchanova. Moskva: VVIA im. prof. N.E. Zhukovskogo (M: Air Force Academy named after Zhukovsky professor), 1986 [in Russian].
6. Molchanov I.N., Khimich A.N., Popov A.V., Gerasimova T.A., Nesterenko A.N., Yakovlev M.F. Ob effektivnoi realizatsii vychislitel'nykh algoritmov na MIMD-komp'yuterakh. *Iskusstvennyi intellekt* (Artificial intelligence). 2005. 3: 75–184 [in Russian].
7. Khimich A.N., Molchanov I.N., Popov A.V., Chistjakova T.V., Yakovlev M.F. *Parallelnye algoritmy reshenija zadach vychislitel'noi matematiki*. Kyiv: Naukova dumka (Scientific thought), 2008 [in Russian].
8. Molchanov I.N. Problemy intellektualizatsii MIMD-komp'yuterov. *Kibernetika i sistemnyi analiz* (Cybernetics and systems analysis). 1998. 1: 37–46 [in Russian].
9. Molchanov I.N. Intellektual'nye komp'yutery — sredstvo isledovanija i reshenija nauchno — tekhnicheskikh zadach. *Kibernetika i sistemnyi analiz* (Cybernetics and systems analysis). 2004. 1: 175–179 [in Russian].
10. Sergienko I.V., Molchanov I.N., Khimich A.N. Intellektual'nye tekhnologii vysokoproizvoditel'nykh vychislitel'nykh. *Kibernetika i sistemnyi analiz* (Cybernetics and systems analysis). 2010. 5: 64–176 [in Russian].
11. Molchanov I.N., Mova V.I., Strjuchenko V.A. Intellektual'nye komp'yutery dlja issledovanija i reshenija nauchno-tekhnicheskikh sadach — novoe napravlenie v razvittii vychislitel'noi tekhniki. *Zo'jazok* (Communication). 2005. 7: 45–46 [in Russian].
12. Perevozchikova O.L., Tulchinsky V.G., Yushchenko P.A. Postroenie i optimizatsija paralel'nykh komp'yuterov dlja obrabotki bol'shikh objemov dannykh. *Kibernetika i sistemnyi analiz* (Cybernetics and systems analysis). 2006. 4: 117–129 [in Russian].
13. Molchanov I.N., Perevozchikova O.L., Khimich A.N. Inparcom-16 — Intellektual'naja rabochaja stantsija. *Kibernetika i sistemnyi analiz* (Cybernetics and systems analysis). 2007. 3: 51–55 [in Russian].
14. Semerenko V.R., Falfushinsky V.V., Yushchenko R.A. *Construction of the job management system for family Inparkom clusters*. In Proc. 3th International conference «TAAPSD'2006». May Kyiv, 2006 [in Russian].
15. Molchanov I.N., Khimich A.N., Mova V.I., Perevozchikova O.L., Strjuchenko V.A., Popov A.V., Chistjakova T.V., Yakovlev M.F., Gerasimova T.A., Zubatenko V.S., Gromovskii A.V., Nesterenko A.N., Poljanko V.V., Rudich O.V., Yushchenko R.A., Nikolaichuk A.A., Gorodetskii A.S., Slobodjan Ja.E. Geraimovich Ju.D. *Chislennoe programnoe obespechenie intellektual'nogo MIMD-komp'yutera Inparcom*. Kyiv: Naukova dumka (Scientific thought), 2007 [in Russian].
16. Kaplun A.B., Morozov E.M., Olfer'eva M.A. *ANSYS v rukakh inzhenera: Prakticheskoe rukovodstvo*. (ANSYS in the hands of the engineer: A Practical Guide). Moskva: Editorial URSS, 2003 [in Russian].
17. Gorodetsky A.S., Evzerov I.D. *Komp'yuternye modeli konstruksii* (Computer models of structures). Kyiv: FACT, 2007 [in Russian].
18. Khimich A.N., Poljanko V.V., Popov A.V., Rudich O.V. Reshenie zadach rascheta prochnosti konstruksii na MIMD-komp'yutere. *Iskusstvennyi intellekt* (Artificial Intelligence). 2008. 3: 750–760.
19. Bilous M.V. *Finite solver Nedra-3D: modeling of water filtration in the space-planned staging*. In Proc. The International Conference «The Issues of Calculation Optimization (ISCOPT XLII)», September 21–25, 2015, Transcarpathian region, Mukachevo district, town. Chynadiyevo.
20. Velikoivanenko E.A., Milenin A.S., Popov A.V., Sidoruk V.A., Khimich A.N. Metody i tekhnologii paralel'nykh vychislenii dlja matematicheskogo modelirovanija naprjazhonno-deformirovannogo sostojanija konstruksii s uchetom vjazkogo razrushenija. *Problemy upravlenija i informatiki* (Journal of Automation and Information Sciences). 2014. 6: 42–52 [in Russian].

*O.M. Khimich, I.M. Molchanov,
V.I. Mova, O.O. Nikolaichuk, O.V. Popov,
T.V. Chistjakova, M.F. Yakovlev,
V.G. Tulchinsky, R.A. Yushchenko*

V.M. Glushkov Institute of Cybernetics,
the NAS of Ukraine,
40, Glushkov Av., Kyiv-187, 03187, Ukraine,
tel.: +38 (044) 526-60-88,
fax: +38 (044) 526-41-78

INTELLIGENT PERSONAL
SUPERCOMPUTER FOR SOLVING SCIENTIFIC
AND TECHNICAL PROBLEMS

New domestic intelligent personal supercomputer of hybrid architecture Inparkom_pg for the mathematical modeling of processes in the defense industry, engineering, construction, etc. was developed. Intelligent software for the automatic research and tasks of computational mathematics with approximate data of different structures was designed. Applied software to provide mathematical modeling problems in construction, welding and filtration processes was implemented.

Keywords: mathematical modeling, intelligent computer, hybrid architecture, computational mathematics, approximate data.

*A.H. Химич, И.Н. Молчанов, В.И. Мова,
А.А. Николайчук, А.В. Попов, Т.В. Чистякова,
М.Ф. Яковлев, В.Г. Тульчинский, Р.А. Ющенко*

Институт кибернетики им. В.М. Глушкова
НАН Украины,
просп. Академика Глушкова, 40, Киев-187, 03187, Украина
тел.: +38 (044) 526-60-88, факс +38 (044) 526-41-78

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ ПЕРСОНАЛЬНЫЙ
СУПЕРКОМПЬЮТЕР ДЛЯ РЕШЕНИЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИХ ЗАДАЧ

Разработан новый отечественный интеллектуальный персональный суперкомпьютер гибридной архитектуры Inparkom_pg, предназначенный для математического моделирования процессов в оборонной отрасли, отраслях машиностроения, строительства и т.д. Создано интеллектуальное программное обеспечение для автоматического исследования и решения задач вычислительной математики с приближенными данными различной структуры. Реализовано прикладное программное обеспечение для математического моделирования задач в строительстве, электросварке и процессах фильтрации.

Ключевые слова: математическое моделирование, интеллектуальный компьютер, гибридная архитектура, вычислительная математика, приближенные данные.

Стаття надійшла до редакції 23.05.16