



ХІМІЧ

Олександр Миколайович — член-кореспондент НАН України, заступник директора Інституту кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СКЛАДНИХ СИСТЕМ НА ОСНОВІ СУПЕРКОМП'ЮТЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Стенограма наукової доповіді на засіданні Президії НАН України 27 червня 2018 року

У доповіді висвітлено сучасний стан проблеми використання суперкомп'ютерних технологій для математичного моделювання складних систем і розв'язування великорозмірних надскладних обчислювальних задач. Представлено створену в Інституті кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України інфраструктуру та запропоновано сучасний підхід до математичного моделювання на основі високопродуктивних обчислень та інтелектуальних технологій на базі суперкомп'ютера СКІТ і сімейства інтелектуальних комп'ютерів Інпарком. Наголошено на необхідності взяття заходів щодо модернізації та збільшення потужності суперкомп'ютера СКІТ, а також на розширенні впровадження вітчизняних інтелектуальних паралельних комп'ютерів сімейства Інпарком для вирішення науково-технічних завдань. Крім того, Україна має зробити всі необхідні кроки, щоб долучитися до ініціативи Євросоюзу з розвитку високопотужних комп'ютерів.

Шановний Борисе Євгеновичу!

Шановні колеги!

Гадаю, в цій аудиторії нікого не потрібно переконувати в тому, що комп'ютерні технології, обчислювальний експеримент є запорукою створення конкурентоспроможної продукції в усіх галузях народного господарства. Застосування новітніх інформаційних технологій визначає рівень науково-технічного розвитку держави. Ці технології є локомотивом розвитку хайтек-майбутнього: штучного інтелекту, кібербезпеки, блокчейн-технологій, роботизації тощо.

У доповіді я хотів би привернути вашу увагу до використання суперкомп'ютерних технологій для математичного моделювання складних систем, тобто для тих випадків, коли ресурсу сучасних персональних комп'ютерів чи робочих станцій не вистачає. Можливість застосування суперкомп'ютерних

технологій сприяє постановці та розв'язанню великорозмірних надскладних обчислювальних задач. Наприклад, при математичному моделюванні міцнісних характеристик літака в цілому постає необхідність у розв'язанні системи лінійних алгебраїчних рівнянь, порядок якої становить близько 30 млн. Високопродуктивні обчислення та суперкомп'ютерні технології на основі паралельних обчислень часто є одним з основних, а інколи і єдиним інструментом математичного моделювання в наукових та інженерних дослідженнях і дає можливість на порядок (а іноді й більше) підвищити ефективність розв'язання різноманітних задач у сфері науки, техніки, економіки, промисловості, державного управління, безпекової політики держави тощо.

Сьогодні суперкомп'ютери є національним пріоритетом у США, Європейському Союзі, Китаї. Єврокомісія започаткувала кілька європейських платформ, спрямованих на сприяння розвитку суперкомп'ютерних технологій:

- Європейська хмара відкритої науки (European Open Science Cloud – EOSC);
- Європейська технологічна платформа для високопродуктивних обчислень з метою спільного розроблення та використання суперкомп'ютерних технологій та їх застосувань (European High-Performance Computing Joint Undertaking – EuroHPC);
- суперкомп'ютерні ексафлопсні проекти в рамках програми ЄС з досліджень та інновацій «Горизонт-2020».

Крім того, минулого року віце-президент Єврокомісії з питань єдиного цифрового ринку Андрус Ансип (Andrus Ansip) оголосив про початок реалізації амбітного проекту зі створення до 2020 р. власного європейського суперкомп'ютера, який би входив до першої десятки у світовому рейтингу суперкомп'ютерів. Обсяг капіталовкладень, запланованих на реалізацію цього проекту, сягає 1 млрд євро.

В Україні суперкомп'ютинг як науковий напрям розвивається з кінця 70-х років минулого століття, коли на основі ідеї академіка В.М. Глушкова розпочалася робота зі створення нової архітектури багатопроцесорних

суперкомп'ютерів. Проте реалізовано ідею розроблення макроконвеєрної обчислювальної системи було вже після смерті В.М. Глушкова. Під керівництвом академіка В.С. Михалевича було створено промислові зразки макроконвеєрного обчислювального комплексу (МОК) ЄС-1766 – першої багатопроцесорної обчислювальної системи з розподіленою пам'яттю і високою ефективністю розпаралелювання процесів розв'язування задач. При цьому макроконвеєрна організація обчислень дала змогу забезпечити майже лінійне зростання продуктивності комп'ютера зі збільшенням кількості процесорів.

Свого часу на МОК ЄС-1766 було розв'язано цілу низку прикладних задач великої складності. Наприклад, на замовлення ЦАГІ ім. проф. М.Є. Жуковського розв'язувалися задачі, пов'язані з дослідженням на міцність літака в цілому; було проведено чисельне моделювання ядерного вибуху за допомогою програми Всесоюзного науково-дослідного інституту експериментальної фізики; виконано дослідження взаємодії атмосфери та океану за програмою відділу обчислювальної математики АН СРСР. Отримані результати засвідчили високу ефективність МОК, а також добру корельованість даних чисельних та натурних експериментів. Співробітники Інституту кібернетики підготували першу в Радянському Союзі монографію з паралельних обчислень «Численные методы для многопроцессорного вычислительного комплекса ЕС», видану в 1985 р. у Військово-повітряній інженерній академії імені Жуковського.

Сучасні парадигми математичного моделювання. Разом зі зростанням можливостей комп'ютерів для виконання наукових та інженерних досліджень зростають і проблеми, пов'язані з їх створенням та застосуванням. Збільшення числа процесорів (ядер) у паралельних комп'ютерах означає суттєве підвищення комунікаційних втрат і зниження ефективності. Уже зараз через комунікаційні втрати є значні відмінності між максимальною та експлуатаційною продуктивністю. У зв'язку з цим постає потреба переосмислити всі відо-

мі методи обробки інформації стосовно паралельних архітектур, враховуючи як властивості математичної моделі, так і характеристики паралельного комп'ютера. При цьому слід зважати на те, що для різних архітектур паралельних комп'ютерів — MIMD-, SIMD- або гібридної (MIMD-SIMD) архітектури — алгоритми і програми відрізнятимуться. Крім того, для багатьох задач «більше обчислювальних пристроїв» ще не означає «швидше». Отже, 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) або є проміжним етапом, або зводиться до розв'язування базових задач обчислювальної математики (системи лінійних рівнянь, алгебраїчної проблеми власних значень, нелінійних рівнянь та систем, задач з початковими умовами для систем звичайних диференціальних рівнянь).

Ключовою проблемою процесу математичного моделювання, яка акумулює в собі вплив усіх інших факторів, є проблема вірогідності машинних розв'язків. Важливість цієї проблеми підтверджує хоча б той факт, що вже понад 30 років у більш ніж 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.

Відомо, що в деяких випадках при розв'язанні на комп'ютерах наукових та інженерних задач користувачі отримують машинні розв'язки, 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 математичної арифметики і комп'ютерної арифметики тощо. Принципово,

що у зв'язку з цим математичну модель з наближеними даними слід розглядати як таку, що має апріорі невизначені властивості, які можуть змінюватися в межах похибки вихідних даних. Звідси одне із завдань математичного моделювання — дослідити в комп'ютерному середовищі властивості машинної задачі, побудувати алгоритм отримання наближеного розв'язку та дати оцінку його точності.

Аналіз особливостей комп'ютерної математики показав, що:

- континуум усіх дійсних чисел у комп'ютері апроксимується скінченною множиною скінченних дробів (уже під час введення числових даних виникають похибки заокруглення);
- феномен «машинного нуля» породжує низку труднощів у реалізації обчислювальних алгоритмів (кожний комп'ютер має найменше додатне число, яке може бути в ньому представлено, і всі числа, менші по модулю за величину цього числа, замінюються нулем);
- арифметичні операції на комп'ютері відрізняються від математичних: закони асоціативності і дистрибутивності не виконуються на жодному із сучасних комп'ютерів, а закони комутативності в операціях з плаваючою точкою виконуються тільки в разі правильної процедури заокруглення.

Отже, аксіоматика математики, зокрема обчислювальної математики, відрізняється від аксіоматики машинної математики.

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.

Наприклад, надзвичайно ускладнює ситуацію той факт, що велика математична відмінність між матрицями повного і неповного рангу існує лише в математично ідеальному світі дійсних чисел. Оскільки дії над матрицями виконуються з округленням, ця різниця стає невизначеною. Таким чином деяка невідроджена матриця в комп'ютері може стати ви-

родженою. З іншого боку, дуже ймовірно, що вироджена насправді матриця через похибки заокруглень перетвориться на близьку, але невироджену матрицю. Отже, можна говорити про нерозв'язність таких задач на всьому класі матриць за фіксованих характеристик комп'ютерного середовища. Дослідження з цього напрямку інтенсивно розвиваються в Інституті кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України, зокрема із залученням техніки багаторозрядної арифметики.

Іншою не менш важливою і актуальною проблемою практичної реалізації високопродуктивних обчислень, особливо в умовах різноманіття архітектур комп'ютерів та вищезазначених проблем комп'ютерної математики, є створення програмного забезпечення рівня кінцевого користувача, яке забезпечувало б спілкування з комп'ютером мовою предметної області та автоматизувало весь процес розв'язування задачі на комп'ютері (алгоритмізація, програмування, вибір ефективною топології, розв'язування задачі в умовах наближених даних та аналіз достовірності комп'ютерних результатів).

Сучасний підхід до математичного моделювання враховує наведені відомості і передбачає, зокрема, реалізацію таких парадигм:

- високопродуктивні обчислення (НРС) (паралельні, розподілені, гібридні, ґрид- та хмарні обчислення);
- комп'ютерна математика (некласичні математичні моделі, розривні розв'язки, дробові похідні, наближені вихідні дані тощо);
- інтелектуальне програмне забезпечення (автоматизація процесу дослідження та розв'язування задач, реалізація концепції знань, створення інтелектуальних програмно-технічних засобів з елементами штучного інтелекту).

Реалізація такої тріади 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 істотно скоротити

час математичного моделювання. Зазначимо при цьому, що вартість організації натурних експериментів і часові затрати на них є на два-три порядки вищими, ніж для комп'ютерного експерименту.

Детальніше зупинюся на пріоритетних результатах, отриманих у цих дослідженнях.

Комп'ютерна математика. Ключовим моментом тут є постановка задач з наближеними вихідними даними. Одержано оцінки повної похибки розв'язків лінійних систем прямими та ітераційними методами. Уперше отримано оцінки похибок псевдорозв'язків та зважених псевдорозв'язків для випадку незбігу рангу вихідної та збуреної матриці.

Другим важливим результатом є розроблення критеріїв закінчення ітераційних процесів, що гарантують задану похибку в умовах наближених обчислень та похибки вихідних даних. Розвинуто апарат багаторозрядної і змішаної арифметики для MIMD-архітектури і гібридних (MIMD-SIMD) архітектур.

Ще раз підкреслю, що суть проблеми полягає в тому, що в умовах наближених даних та наближених обчислень ми маємо комп'ютерну модель задачі з апріорі невизначеними математичними властивостями, які до того ж можуть змінюватися. Одним з інструментів досліджень у такому випадку є багаторозрядна арифметика.

Високопродуктивні обчислення. Проривними результатами в цьому напрямі є шаровоциклічні методи зберігання та обробки інформації, які увійшли у світову практику паралельних обчислень як інструмент побудови збалансованих паралельних алгоритмів, кешкогерентні блочні алгоритми та методи структурної регуляризації матриць. Завдяки цим новаціям вдалося більш як на порядок пришвидшити паралельні алгоритми.

Інтелектуалізація обчислень. Інтелектуальне програмне забезпечення — це комплекс програм, у якому в процесі розв'язування інженерних та наукових задач отримуються знання про властивості комп'ютерної моделі і відповідно до цих властивостей автоматично будується алгоритм, програма, формується тополо-

гія гібридного комп'ютера, а після закінчення процесу обчислень оцінюється достовірність отриманих результатів.

У цій компоненті слід відзначити реалізацію принципу прихованого паралелізму, що дає змогу забезпечити для кінцевого користувача такий самий режим роботи, як і на традиційному комп'ютері. З точки зору кінцевого користувача важлива автоматизація всіх етапів розв'язання задачі, особливо вирішення проблеми побудови віртуальної ефективної топології паралельного комп'ютера, визначення необхідної кількості процесорів та здійснення оцінки якості отриманих результатів.

Результати наведених вище досліджень покладено в основу створення програмно-технічних комплексів на основі сімейства суперкомп'ютерів СКІТ та сімейства інтелектуальних комп'ютерів Інпарком. Причому наголос тут зроблено на слові «програмно-технічних».

Сімейство суперкомп'ютерів СКІТ. На сьогодні СКІТ є однією з найпотужніших кластерних систем в Україні з сукупною піковою продуктивністю близько 46 Тфлопс (трильйонів операцій на секунду). СКІТ має кілька десятків інформаційних технологій для різних застосувань, які дозволяють з великою ефективністю вирішувати найскладніші завдання економіки, екології, захисту інформації, охорони навколишнього середовища, авіабудування, вивчення закономірностей біологічних процесів тощо.

Комплекс СКІТ пройшов сертифікацію і працює як ресурсний центр Українського національного гріду (УНГ), є членом європейської грид-інфраструктури EGI.

Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України безкоштовно надає обчислювальний ресурс суперкомп'ютера СКІТ понад 30 академічним установам з 12 відділень НАН України. Ним користуються також заклади вищої освіти, державні організації та підприємства України. Щороку на суперкомп'ютері СКІТ розв'язується близько 40–50 тис. задач.

Зокрема, спільно з літакобудівниками ДП «Антонов» на базі суперкомп'ютера СКІТ розроблено програмно-технічний комплекс для

розв'язання розрахункових задач надвеликої розмірності.

СКІТ успішно застосовують для математичного моделювання складних систем і процесів у сфері державного управління. За ініціативою Комітету з питань бюджету Верховної Ради України спільно з Державною установою «Інститут економіки та прогнозування НАН України» та Інститутом телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України створено ефективний інструментарій для розрахунку різних варіантів бюджетно-податкової політики на державному та регіональному рівнях і прогнозування середньострокових наслідків прийнятих рішень, який передано до парламентського Комітету з питань бюджету для апробації.

Створено низку технологій, зокрема технологію «Надра», для аналізу стану і прогнозу динаміки процесів, які відбуваються в гідротехнічних спорудах, ґрунтових схилах, масивах ґрунтів, що зазнають техногенного впливу. Зараз спільно з Інститутом геологічних наук НАН України технологія Nadra-3D використовується в роботах з оцінки запасів підземних вод регіонів України, а також для прийняття стратегічних рішень у сфері природокористування та будівництва важливих споруд.

Однак для забезпечення сучасного рівня продуктивності комп'ютерів (хоча б рівня середнього університету США, оскільки потужність, наприклад, китайського кластера Sunway більш ніж у 5000 разів перевищує нинішню потужність СКІТ) необхідна модернізація комплексу СКІТ принаймні до 100 Тфлопс, що потребує капіталовкладень обсягом близько 200 тис. дол. США.

Сімейство інтелектуальних робочих станцій Інпарком. Іншим важливим напрямом є спільна розробка Інституту кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України і ДП «Електронмаш» — інтелектуальні комп'ютери середньої ланки серії Інпарком.

Інтелектуальні комп'ютери Інпарком є продовженням реалізації ідеології інтелектуалізації обчислювальних систем, започаткованої академіком В.М. Глушковим. При

цьому реалізується принцип «не числом, а вмінням». Комп'ютери сімейства Інпарком покликані заповнити нішу між персональними комп'ютерами з порівняно низьким обчислювальним ресурсом та суперкомп'ютерами. На відміну від традиційних комп'ютерів, інтелектуальні робочі станції Інпарком забезпечують дослідження властивостей задач та автоматизацію процесу адаптивного налаштування алгоритмів, програм та архітектури комп'ютера на властивості конкретної задачі. Одним з основних стимулів для створення таких комп'ютерів середньої ланки є економічна складова, оскільки для деяких задач цілком достатньо ресурсу робочих станцій, тоді як використання суперкомп'ютерів — справа дуже високоякісна. Крім того, робочі станції можна застосовувати для налагодження програм для суперкомп'ютерів.

У рамках цього напрямку фахівці Інституту кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України і ДП «Електронмаш» розробили концепцію та створили лінійку інтелектуальних паралельних комп'ютерів Інпарком різної архітектури: багатоядерної, гібридної та MIMD-архітектури на основі новітніх процесорів Intel Xeon Phi для розв'язування науково-технічних задач. Зазначу, що сучасні технічні засоби, розроблені алгоритмічне та програмне забезпечення дозволяють завдяки ущільненню обчислень та інтелектуалізації процесу обчислень створити одновузлові суперкомп'ютери у форматі персонального комп'ютера, зокрема, це комп'ютери Інпарком_rg та Інпарком_xr. На ДП «Електронмаш» організовано серійне виробництво комп'ютерів сімейства Інпарком зі штатним інтелектуальним програмним забезпеченням.

Хотів би підкреслити, що для кожного комп'ютера сімейства Інпарком використовувалися найновіші технічні засоби з тих, які на момент його створення були наявні на ринку. Це стало можливим завдяки фінансуванню, наданому Президією НАН України та нашим партнером ДП «Електронмаш».

Сфери застосування інтелектуальних комп'ютерів Інпарком. На основі гібридних обчислень спільно з партнерами створено та впрова-

джено як штатне прикладне програмне забезпечення для інтелектуальних робочих станцій Інпарком:

- *Lipa_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.

З використанням комп'ютерів сімейства Інпарком розв'язано складні задачі в різних галузях інженерії. Створено і впроваджено в практику цивільного та промислового будівництва першу вітчизняну інтелектуальну систему автоматизації проектування унікальних будівельних конструкцій (спільно з компанією «ЛІРА-софт»). 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.

Здійснено математичне моделювання процесів в'язкого руйнування товстостінних елементів трубопроводів з дефектами стоншення (спільно з Інститутом електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України). Це дає можливість визначати залишковий ресурс відповідальних конструкцій та приймати обґрунтовані рішення щодо подовження нормативних термінів їх безпечної експлуатації. Зазначений методологічний підхід до чисельного моделювання не має світових аналогів і використовується в Інституті електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України для потреб атомної енергетики, а також трубопровідного транспорту України.

Розв'язано аеродинамічні задачі обтікання планера АН-148 (спільно з ДП «Антонов»), проведено газодинамічні і міцнісні розрахун-

ки деталей та вузлів авіадвигунів (спільно з ДП «Івченко-Прогрес»). Реалізовано 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 (площа поверхні — $184000 \times 222000 \text{ м}^2$) (спільно з Інститутом геологічних наук НАН України) тощо.

Застосування персональних суперкомп'ютерів Інпарком дає можливість істотно скоротити час математичного моделювання і, відповідно, заощадити кошти на проведення високовартісних натурних експериментів. Завдяки відносно невеликій 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, сьогодні в усіх галузях народного господарства неможливо досягти значного прогресу без впровадження новітніх комп'ютерних технологій на основі сучасних досягнень у галузі кібернетики. Розроблення уточнених математичних моделей, урахування 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 якого 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 гос-

подарства, істотно скорочувати кошти і час на розроблення об'єктів сучасної техніки.

Перспективи. Зараз ми стоїмо на порозі екзафлопсної ери (10^{18} флопсів). Гадаю, що це станеться вже найближчим часом. Напевно, будуть прийняті нові архітектурні рішення і постане завдання створення або модернізації алгоритмічного та програмного забезпечення, комп'ютерних технологій.

Інформатика майбутнього — це квантова інформатика. На сьогодні у світі вже виконано ряд принципів досліджень щодо квантової обробки інформації. Передбачається, що створення повноцінного масштабованого квантового комп'ютера та застосування його для криптоаналізу дозволить побудувати принципово нові моделі і методи захисту інформації. На часі також дослідження проблем квантових обчислень для математичного моделювання, що забезпечить інтенсивний, принципово новий шлях нарощування ресурсу високопродуктивних обчислень. І до цього слід готуватися вже зараз.

Висновки. Суперкомп'ютери відіграють важливу роль у сфері забезпечення ключових напрямів державної політики. Україна має зробити певні кроки, щоб вчасно долучитися до кола країн, які розвивають ці вкрай важливі технології.

З огляду на світові тенденції до збільшення кількості користувачів та зростання рівня складності задач, а також виняткову важливість застосування сучасних суперкомп'ютерних комплексів для забезпечення реалізації наукових досліджень і розробок за пріоритетними напрямками, необхідно вжити заходів щодо модернізації та підвищення потужності вітчизняного суперкомп'ютера СКІТ до 100 Тфлопс з перспективою подальшого її нарощування до 400–450 Тфлопс (у тому числі і як найпотужнішого ресурсного центру Українського національного гріду).

Слід також сприяти впровадженню вітчизняних інтелектуальних паралельних комп'ютерів середньої ланки Інпарком для вирішення науково-технічних задач, зокрема для наукових установ та освітньої галузі, яка, на жаль,

зараз недостатньо оснащена сучасним обчислювальним ресурсом.

Крім того, доцільно повніше використовувати можливості європейських суперкомп'ютерних платформ для спільного користування, а також долучитися до ініціативи Євро-

пейського Союзу з розвитку високопотужних комп'ютерів, зокрема до проекту зі створення європейського суперкомп'ютера.

Дякую за увагу!

*За матеріалами засідання
підготувала О.О. Мележик*

A.N. Khimich

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

MATHEMATICAL MODELING OF COMPLEX SYSTEMS
BASED ON SUPERCOMPUTER TECHNOLOGIES

Transcript of scientific report at the meeting of the Presidium of NAS of Ukraine,
June 27, 2018

The report highlights the current state of the problem of using supercomputer technologies for mathematical modeling of complex systems and solving large-scale complex problems. A modern approach, created by the Glushkov Institute of Cybernetics of NAS of Ukraine, to mathematical modeling based on high-performance computing and intelligent technologies based on the supercomputer SKIT and the family of intellectual computers of Inparcom is presented. The necessity of taking measures to modernize and increase the capacity of supercomputer SKIT, as well as expansion of the introduction of domestic intelligent parallel computers of the Inparcom family for solving scientific and technical problems, is emphasized. In addition, Ukraine should take all necessary steps to join the European Union initiative to develop high-capacity computers.