

## ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ СУЧАСНИХ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

**Анотація.** У статті висвітлено перспективи розвитку сучасних комп'ютерних систем у контексті реалізації концепції цифрової економіки та суспільства.

**Ключові слова:** комп'ютерні технології, суперкомп'ютери, квантові комп'ютери, нейрокомп'ютери, біоінформатика.

### PROSPECTS OF MODERN COMPUTER SYSTEMS DEVELOPMENT

**Abstract.** The article highlights the prospects for the development of modern computer systems in the context of digital economy and society concept realization.

**Keywords:** computer technologies, supercomputers, quantum computers, neurocomputers, bioinformatics.

Сучасні комп'ютери не можна назвати дуже повільними, проте часто вони не задовольняють швидкісні потреби людини, і вченими ведуться роботи з винаходу інноваційних систем в комп'ютерній техніці. Комп'ютерні технології – це передній край науки XXI ст.

Важливою складовою комп'ютерних технологій є суперкомп'ютери (СК) – найпотужніші в світі обчислювальні системи, що використовуються для проведення фундаментальних досліджень у різних галузях науки, в тому числі при моделюванні систем штучного інтелекту. Беззаперечно, основним споживачем суперкомп'ютерів є США. Фірми «Hewlett-Packard» і «IBM» контролюють близько 80 % світового ринку суперкомп'ютерів, при цьому «IBM» спрямовує на ринок найбільш швидкі та найпотужніші у світі СК (34,8%). У цьому контексті частка «Hewlett Packard» становить 22,7 % [1].

В умовах сьогодення промислово розвинені країни активно конкурують в області створення найпотужніших і найпродуктивніших СК (гонитва за «флопсами»). У цьому контексті найпотужнішим суперкомп'ютером у 2021 р. стала японська система Fugaku. Комп'ютер працює на процесорі A64FX 48C з 7630848 ядрами і тактовою частотою 2,2 ГГц. Згідно з результатами тесту Linpack, потужність машини досягає 442010 терафлопс/с. Варто зазначити, що один терафлопс дорівнює 1 трлн операцій на секунду. Теоретичний максимум Fugaku – 537212 терафлопс/с. При цьому комп'ютер споживає 29899 КВт електроенергії. Другу сходинку посідає суперкомп'ютер від американської компанії IBM під назвою Power System AC922 або Summit. Його процесор IBM POWER9 22C (3.07 ГГц) має 2414592 ядра, які видають 148600 терафлопс/с, споживаючи 10096 КВт [2].

Заслугує на увагу той факт, що в листопаді 2021 р. найбільша міжнародна організація в галузі комп'ютерних наук – Асоціація обчислювальної техніки (АСМ) – присудила премію Гордона Белла команді розробників китайського суперкомп'ютера Oceanlite на базі нового покоління чипів Sunway (ShenWei). Премія Гордона Белла щороку присуджується за визначні досягнення у галузі високопродуктивних обчислень. За повідомленнями китайських ЗМІ, суперкомп'ютер Oceanlite, з більш ніж 10 млн обчислювальних ядер, досягнув продуктивності 4,4 ексафлопс/с. При цьому усталена продуктивність Oceanlite на 42 млн ядер або більше становить 1,05 ексафлопс/с, а пікова – 1,3 ексафлопс/с (в HPL). Отже, ексафлопний бар'єр у обчисленнях подолано на практиці. Однак, лауреатом премії Гордона Белла система Oceanlite стала не за подолання ексафлопного бар'єру, хоча це само собою революційна подія в історії людства. Новий китайський суперкомп'ютер розвінчав міф Google про квантову перевагу [3].

Водночас, за оцінками експертів, вже в найближчому майбутньому настане фізична межа технологічної платформи, яка використовується на основі кремнієвих транзисторних технологій, і

знадобляться абсолютно нові комп'ютерні технології. До таких можна віднести технологію створення квантових комп'ютерів з використанням ядерного магнітного резонансу, біомолекулярних комп'ютерів, нейрокомп'ютерів.

*Квантовий комп'ютер* – це обчислювальна машина, що використовує унікальні квантово-механічні ефекти, такі як: інтерференція, паралелізм, суперпозиція, запутаність для виконання абсолютно нових видів обчислень, які, навіть у принципі, неможливо виконати на одному класичному комп'ютері. Так, якщо квантовий комп'ютер складається з  $n$  кубітів (квантових бітів), то він може мати одночасно  $2n$  різних станів кубітів, класичний комп'ютер може мати одночасно тільки один з  $2n$  станів. Кубіти в квантових комп'ютерах можуть бути в суперпозиції (суміщенні), мати одночасні включення і виключення, відповідаючи, таким чином, законам квантової механіки. Комутації в чіпах сучасних комп'ютерів перебувають у одному із станів: або включені, або вимкнені. Квантовий комп'ютер працює за допомогою маніпулювання кубітами на основі фіксованої послідовності, встановленої квантовою логічною схемою, яка називається квантовим алгоритмом. В якості кубітів можуть використовуватися фотони і окремі атоми. Властивість суперпозиції дає змогу квантовому комп'ютеру проводити обчислення за незрівнянно коротший термін, ніж традиційному комп'ютеру [4]. В даний час проводяться дослідження за таким напрямом як масштабованість та модульне нарощування квантових інформаційних систем. Така комп'ютерна архітектура дасть змогу не лише створити інтерфейс з квантовими комунікаціями, але й, у перспективі, квантові інформаційні мережі.

Спеціалістами також проводяться дослідження зі створення технологій зберігання та обробки інформації в біологічних системах, а також *біокомп'ютерів*: генетичних (ДНК / РНК) та клітинних. ДНК або біомолекулярний комп'ютер, є комбінацією спеціально підібраних ниток ДНК, що забезпечує виконання конкретних обчислювальних операцій. Основні переваги ДНК-комп'ютерів:

- можливість створення потужних паралельних схем, недоступних для звичайних комп'ютерів, що працюють на кремнієвих чіпах. Це забезпечує виконання найскладніших математичних розрахунків за виключно короткий період часу, що вимірюється в хвилинах. Для виконання таких же розрахунків традиційним комп'ютером знадобляться місяці та роки;

- значна ємність для зберігання даних. Так, 453 г ДНК-молекул володіють ємністю для зберігання даних, що перевищує сумарну ємність всіх сучасних комп'ютерів, а 10 трил ДНК-молекул займають об'єм в  $1 \text{ см}^3$ , чого достатньо для зберігання об'єму інформації в 10 ТБ;

- використання не бінарного, а тернарного коду, коли інформація кодується трійками нуклеотидів;

- висока швидкодія ( $10^{14}$  опер/с) за рахунок одночасного вступу в реакцію трильйонів молекул ДНК;

- висока щільність зберігання даних, що в трильйони разів перевищує показники сучасних оптичних дисків;

- низьке енергоспоживання.

Експерти прогнозують у недалекому майбутньому ДНК-комп'ютери як нанофабрику ліків, інакше кажучи, ДНК-нанокомп'ютери, поміщені в клітину, зможуть здійснювати спостереження за потенційними хвороботворними змінами та синтезувати відповідні ліки для боротьби з ними. Подібний комп'ютер, що імплантується в клітину, створили вчені Гарвардського і Принстонського університетів. Комп'ютер призначений для контролю діяльності генів всередині клітин, визначення мутованих генів. Фактично, такого роду комп'ютери є інструментами для зчитування клітинних сигналів, що можуть фіксувати та передавати складну клітинну сигнатуру, діяльність безлічі генів, інформацію на виході клітини. Крім того, вони можуть бути запрограмовані на маркування хворих клітин, для яких потрібне клінічне лікування, або на самостійну терапевтичну дію. Можливість спрямовувати лікування тільки на патологічні клітини, не торкаючись здорових, є найважливішим результатом створення клітинних або біомолекулярних комп'ютерів. В даний час активно розробляється напрям, пов'язаний із створенням біокомп'ютерів на основі нейроподібних елементів, що дасть змогу зробити ці комп'ютери самопрограмованими зі здатністю приймати самостійні рішення. Разом із тим, існує й низка серйозних проблем, що виникають при розробці біокомп'ютерів: складність зчитування результатів обчислювальних операцій, похибки в обчисленнях – точність 1 % явно недостатня; з часом ДНК розпадаються, при цьому результати обчислень зникають.

*Нейрокомп'ютери* – це інтелектуальні системи (ІС), засновані на моделюванні нейронних мереж. Технічною базою створення нейрокомп'ютерів є нейромережеві апаратно-програмні засоби,

нейроплати – співпроцесори у складі традиційних ЕОМ, спеціалізовані та універсальні нейрокомп'ютери, програмне забезпечення моделювання нейромереж, операційні системи нейрокомп'ютерів. Таким чином, теоретичною базою побудови нейрокомп'ютерів є коннективістський напрям, що ґрунтується на використанні ідеї зв'язування великої кількості елементів для побудови асоціативних мереж, що дають змогу ефективно накопичувати та використовувати знання для вирішення завдань класифікації, апроксимації, розпізнавання образів, прийняття рішень. Цей напрям має потужну теоретичну базу, засновану на біологічних моделях функціонування нервової системи, зокрема, нейронних структур мозку, теорії формальних нейронів, динамічних моделях нейромереж, що описуються різноманітними системами нейрорівнів, методах структурованого подання знань в асоціативних мережах з ієрархічною структурою, навчання асоціативних мереж. Досягнення значних практичних результатів у створенні нейромережових апаратно-програмних засобів та вирішення з їх допомогою низки завдань стало можливим завдяки інтенсивному розвитку технологій НВІС (надвеликих інтегральних схем) та аналогової нейромікроелектроніки.

Зазначимо, що можливості «кремнієвих» технологій до кінця ще не вичерпані і, за наявності значних виробничих потужностей, налагодженого виробництва, фахівців, інфраструктури, розігрітих ринків збуту, цей напрям ще довго займатиме на ринку домінуючі позиції. Освоєння нанометричного діапазону вимагатиме створення принципово нових фізичних основ та технологій виробництва елементної бази суперкомп'ютерів, які загалом проглядаються вже наразі. Створенням елементної бази квантового комп'ютера інтенсивно займається низка науково-дослідних організацій провідних країн світу, що створює передумови для практичної реалізації абсолютно нових видів обчислень, у принципі неможливих для класичних комп'ютерів. Досягнення біоінформатики у поєднанні з нанобіотехнологією призведуть у недалекому майбутньому до створення інтелектуальних наносистем, які імплантуються, що дасть змогу забезпечити контроль стану організму на клітинному рівні.

Таким чином, двадцять перше століття пропонує низку нововведень у сфері елементної бази обчислювальних машин і обчислювальних систем, а з її змінами, відповідно, зміниться архітектура і організація обчислювальних засобів. При цьому, до основних новацій, які внесені у порядок денний, відносять: голографічну, твердотільну і протонну пам'ять; схеми на базі молекулярних ключів; оптичні, квантові та нанокomp'ютери; електронний цифровий папір; пластмасові дисплеї; нейроінформатику, біоінформатику. Отже, дорога в комп'ютерне майбутнє відкрита, а інформаційна революція тільки починається.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Hewlett Packard Enterprise. New H3C gains market share and delivers double digit growth in second quarter of 2019 IDC worldwide enterprise storage systems tracker. URL: <https://www.hpe.com/us/en/newsroom/press-release/2019/09/hewlett-packard-enterprise-new-h3c-gains-market-share-and-delivers-double-digit-growth-in-second-quarter-of-2019-idc-worldwide-enterprise-storage-systems-tracker.html>.
2. Which are the world's top 5 supercomputers? URL: <https://www.weforum.org/agenda/2022/01/visualizing-power-supercomputers-teraflops-technology/>
3. China's exascale supercomputer finally buries the myth of Google's quantum supremacy. URL: <https://www.aroged.com/2021/11/20/chinas-exascale-supercomputer-finally-buries-the-myth-of-googles-quantum-supremacy/>
4. Голотенко О. С. Архітектура комп'ютерних систем. 2016. URL: <http://elartu.tntu.edu.ua/handle/123456789/18313>.

**Островська Галина Йосипівна** – доцент, кандидат економічних наук, доцент кафедри управління інноваційною діяльністю та сферою послуг, Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Тернопіль, e-mail: [h.ostrovska@gmail.com](mailto:h.ostrovska@gmail.com)

**Островський Олександр Тарасович** – студент, Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Тернопіль, e-mail: [Homesasha1@gmail.com](mailto:Homesasha1@gmail.com)

***Ostrovska Halyna Yo.*** – PhD (Economics), Associate Professor, Associate Professor Department of Management of Innovation Activity and Services Industry, Ternopil Ivan Pul'uj National Technical University, Ternopil, e-mail: [h.ostrovska@gmail.com](mailto:h.ostrovska@gmail.com)

***Ostrovskyy Oleksandr T.*** – Student, Ternopil Ivan Pul'uj National Technical University, e-mail: Homesasha1@gmail.com