

## ДОСЛІДЖЕННЯ СУЧАСНИХ МІКРОПРОЦЕСОРНИХ СЕРІЙ ТА ПЕРСПЕКТИВ ЇХ РОЗВИТКУ

Вінницький національний технічний університет

**Анотація.** У дослідженні проаналізовано сучасні тенденції розвитку серій мікропроцесорів, їх архітектурні особливості та розглянуто перспективи розвитку в аспекті продуктивності, енергоефективності та інтеграції нових функцій. Розглянуто основні серії від Intel, AMD та ARM, а також мобільні пристрої, сервери, Інтернет речей (IoT) та інші, які задовольняють різні сегменти ринку. Також розглянуто напрямки розвитку процесорів, що спеціалізуються на обробленні даних штучного інтелекту.

**Ключові слова:** мікропроцесорні серії, обчислювальна потужність, новітні технології, оптимізація, перспективи розвитку.

**Abstract.** The current trends in the development of microprocessor series, their architectural features, and considered the prospects for development from the point of view of performance, energy efficiency, and the integration of new functions are analyzed in the study. The main series from Intel, AMD, and ARM, as well as mobile devices, servers, and IoT and others, were considered, as they satisfy various segments. market. The direction of development of processors specializing in artificial intelligence data processing is also considered. .

**Keywords:** microprocessor series, computing power, latest technologies, optimization, development prospects.

### Вступ

Сучасні мікропроцесори є центральним компонентом цифрових пристроїв, а їхні архітектурні особливості дозволяють реалізовувати широкий спектр функцій як базових обчислень, так і складних обчислень для машинного навчання. Зростаючий попит на обчислювальні потужності спонукає такі компанії як Intel, AMD та ARM, розробляти інноваційні рішення для задоволення потреб різних сегментів ринку – від побутової електроніки до високопродуктивних обчислювальних систем.

Сьогодні найбільш широко застосовуваними є такі мікропроцесорні серії, як Intel Core, AMD Ryzen, ARM Cortex, Apple Silicon, NVIDIA Tegra (рис. 1).



Рисунок 1 – Вигляд МП різних серій

Важливість вивчення останніх серій мікропроцесорів полягає в розумінні їх поточних можливостей та напрямків розвитку, що допомагає прогнозувати ринкові тенденції та інновації в мікропроцесорному секторі. Отже, актуальним є подальше дослідження в напрямку вивчення недоліків та переваг сучасних мікропроцесорних серій.

### Результати дослідження

Результати досліджень показують, що розроблення новітніх серій мікропроцесорів дозволяє досягти значних успіхів у сферах продуктивності, багатоядерності та оптимізації енергоспоживання. Провідні виробники, такі як Intel, AMD та ARM, зосереджуються на вдосконаленні процесорів, щоб задовольнити зростаючий попит на сучасні обчислювальні системи та пристрої. Така тенденція реалізовується у мікропроцесорах, які характеризуються застосуванням новітніх технологій для підвищення продуктивності, енергоефективності та масштабованості (Intel Core i9-13900K, AMD Ryzen 9 7950X, ARM Cortex-A78) (рис. 2).



AMD Ryzen 9 7950X



ARM Cortex-A78

Рисунок 2 – Вигляд МП серій AMD та ARM

Однією з важливих тенденцій розвитку МП є перехід до багатоядерних архітектур: новітні мікропроцесори, такі, як AMD Ryzen та Intel Core i9, зокрема, здатні забезпечувати високу продуктивність завдяки одночасному обробленню кількох потоків даних. Вони пропонують підвищену ефективність для багатозадачних завдань, оскільки обчислення виконуються на кількох ядрах водночас. У професійному середовищі таке архітектурне рішення може значно прискорити 3D-модельовання, оброблення відео та інші ресурсоємні завдання.

Іншим важливим аспектом є розвиток енергоефективності. Враховуючи все більше використання мобільних пристроїв з обмеженою ємністю акумуляторів, процесори повинні забезпечувати високу продуктивність за умови мінімального енергоспоживання, зокрема процесори ARM, особливо серії Cortex, спеціалізуються на досягненні високої енергоефективності і використовуються в смартфонах, планшетах та інших пристроях. Вони широко застосовуються в мобільних і портативних пристроях. Використання енергоефективних ядер також зростає в ноутбуках і серверних системах для зменшення загального енергоспоживання. Разом із тим, орієнтація споживачів на багатоядерність часто буває недоцільною. Багато ПЗ, особливо застарілі або такі, що не орієнтуються на багатоядерність, тобто не потребують для роботи більше ядер (зазвичай 2-4) не зможуть використовувати «дорогу» багатоядерність. Це означає, що процесор із великою кількістю ядер, наприклад 8 або більше, може не використовувати свій повний потенціал. У таких випадках додаткові ядра просто залишаються невикористаними і не дають приросту продуктивності. Для тих ПЗ, які потребують на багатоядерні системи, вигода стає більш очевидною, разом із тим, у цих випадках важливу роль відіграють не лише кількість ядер, а й їхня архітектура та тактова частота МП. Наприклад, комп'ютерні ігри часто краще працюють на менше потужних ядрах із вищою тактовою частотою, ніж на багаточисельних ядрах із меншою продуктивністю.

Інтеграція можливостей штучного інтелекту (ШІ) в мікропроцесори – ще одна помітна тенденція: за допомогою ШІ можна обробляти великі обсяги даних і виконувати складні обчислення без доступу до віддаленого сервера. Наприклад, серії Intel Movidius та NVIDIA Jetson призначені для задоволення обчислювальних потреб машинного навчання та оброблення зображень. Це дозволяє використовувати такі процесори в автономних системах, що працюють в режимі реального часу, таких, як безпілотні автомобілі та дрони (рис. 4).

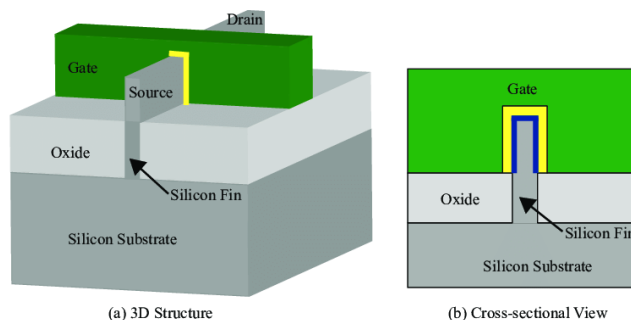


Рисунок 4 – Intel Tri-Gate (FinFET) Transistors

Новітні процесори також використовують технологію 3D-структурування, що дозволяє розташовувати транзистори у тривимірному масиві, зокрема мікропроцесори Intel Foveros та AMD 3D V-

Cache. Це значно збільшує кількість транзисторів на одиницю площі і сприяє підвищенню продуктивності без значного збільшення енергоспоживання. Ця технологія має великий потенціал для використання в серверних системах і центрах оброблення даних, де важливо досягти високої продуктивності в обмеженому фізичному просторі.

Ще однією перспективною технологією є використання графену та інших нових матеріалів у виробництві транзисторів (мікропроцесори: IBM Graphene Transistor, Samsung Graphene-based Chips, Intel Flexible Chips (Graphene-based), Graphene Transistor Prototypes by Various Startups.) (рис. 3).

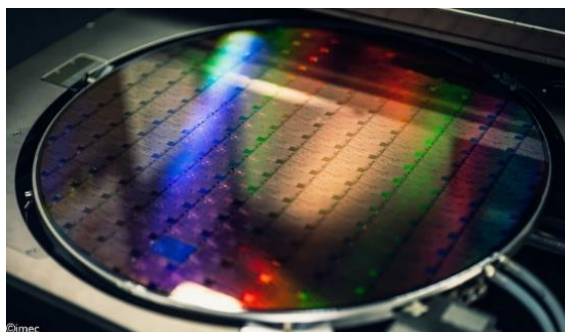


Рисунок 3 – МП IBM Graphene Transistor

Завдяки високій теплопровідності та низькому опору графен може замінити кремній у мікропроцесорній техніці, відкриваючи нові можливості для подальшої мініатюризації та підвищення продуктивності компонентів. Дослідження у цій галузі активно ведуться і спрямовані на подолання теплових обмежень, пов'язаних з високою щільністю розміщення транзисторів.

Таким чином, сучасні мікропроцесори мають великий потенціал для подальшого вдосконалення. Використання нових технологій, таких як багатоядерні, енергоефективні архітектури, інтеграція штучного інтелекту та 3D-структурування дозволяє виробникам мікропроцесорів відповідати сучасним викликам та досягати покращеної продуктивності.

### **Проблеми та перспективи**

Незважаючи на значні досягнення, сучасна мікропроцесорна технологія стикається з кількома проблемами.

Однією з головних проблем є фізичні обмеження, які виникають за потреби мініатюризації транзисторів. Розміщення великої кількості транзисторів на обмеженій площі призводить до збільшення тепловиділення, особливо у високопродуктивних обчисленнях, що вимагає складних рішень для охолодження. Це не тільки збільшує виробничі витрати, але й ускладнює забезпечення стабільної роботи за високих навантажень.

Іншим ключовим питанням є споживання енергії. Незважаючи на прогрес у розробленні енергоефективних архітектур, потреба у високій продуктивності залишається високою, особливо в серверах і центрах оброблення даних, які потребують значних обчислювальних ресурсів. Тому розробники стикаються з необхідністю знайти баланс між підвищенням продуктивності та економією енергії, щоб відповідати екологічним стандартам і знизити експлуатаційні витрати великих обчислювальних кластерів.

Перспективи розвитку мікропроцесорів пов'язані з подальшим вдосконаленням архітектури, новітніми матеріалами та революційними підходами, такими як квантові обчислення. Дослідження матеріалів на основі графену та інших 2D-структур уможливають створення мікропроцесорів з підвищеною теплопровідністю, що дозволяє подолати існуючі проблеми з розсіюванням тепла. Крім того, квантові обчислення можуть відкрити нові підходи до оброблення даних і забезпечити рівень паралельних обчислень, що є неможливим для класичних процесорів. При цьому, зростання кількості транзисторів на одиницю площі МП також можна збільшити, не впливаючи на енергоспоживання. Це підходить для центрів оброблення даних, яким потрібно максимально ефективно використовувати простір, досягаючи при цьому високої продуктивності з обмеженим енергоспоживанням. Розробки в цій галузі можуть вплинути на появу нового покоління процесорів, здатних виконувати складні завдання в хмарних середовищах і великих центрах оброблення даних.

## Висновки

Узагальнюючи результати дослідження, можна зробити висновок, що сучасні мікропроцесорні технології розвиваються надзвичайно динамічно, сприяючи підвищенню продуктивності, енергоефективності та функціональності обчислювальних систем. Завдяки багатоядерній архітектурі процесори можуть одночасно виконувати декілька потоків інструкцій, що підвищує їхню продуктивність у багатозадачних операціях. Ця технологія дозволяє більш ефективно обробляти складні обчислення, оптимізуючи використання ресурсів процесора. Багатоядерні процесори також забезпечують кращу енергоефективність, оскільки кілька ядер можуть працювати на нижчих частотах, споживаючи менше енергії, ніж один високопродуктивний одноядерний процесор, а також здатні ефективніше справлятися з багатозадачністю, що важливо для наукових, інженерних, графічних і корпоративних застосувань. Водночас, досягнення у сфері енергоефективності, особливо у процесорах ARM, відповідають потребам мобільних пристроїв, де баланс між продуктивністю і низьким енергоспоживанням має вирішальне значення.

Інтеграція штучного інтелекту у процесори відкриває нові можливості для автономних систем, забезпечуючи високу продуктивність у реальному часі, навіть у компактних пристроях. Технології 3D-структурування (Intel Tri-Gate (FinFET) Transistors, TSMC 3D IC (Integrated Circuit), Samsung 3D NAND Flash Memory, AMD Ryzen 3D V-Cache), а також дослідження у галузі нових матеріалів, таких як графен, вказують на те, що потенціал підвищення продуктивності й енергоефективності ще далекий від вичерпання.

Таким чином, розвиток мікропроцесорів орієнтований на поєднання продуктивності та економії енергії, що відповідає потребам різних галузей, від мобільних технологій до дата-центрів. Подальші дослідження в цій галузі можуть суттєво змінити сучасні підходи до обчислювальних систем, підвищуючи їх можливості та гнучкість у використанні різноманітних новітніх технологій.

## Список літератури

1. Таненбаум, Е. С., & Бос, Х. Сучасні операційні системи. Pearson. URL: <https://www.pearson.com/store/p/modern-operating-systems/P100000094204> (дата звернення: 16.11.2024).
2. Геннессі, Дж. Л., & Паттерсон, Д. А. Архітектура комп'ютера: кількісний підхід. Elsevier. URL: <https://www.elsevier.com/books/computer-architecture/hennessy/978-0-12-811905-1> (дата звернення: 16.11.2024).
3. AMD. Процесори AMD Ryzen™. URL: <https://www.amd.com/en/products/ryzen-processors> (дата звернення: 16.11.2024).
4. Intel Corporation. Процесори Intel Core™. URL: <https://www.intel.com/content/www/us/en/products/processors/core.html> (дата звернення: 16.11.2024).
5. ARM. Процесори серії ARM Cortex. URL: <https://www.arm.com/products/processors/cortex> (дата звернення: 16.11.2024).
6. NVIDIA. NVIDIA Jetson. URL: <https://www.nvidia.com/en-us/autonomous-machines/embedded-systems/> (дата звернення: 16.11.2024).
7. Intel. Процесори Intel Movidius. URL: <https://www.intel.com/content/www/us/en/products/details/processors/movidius.html> (дата звернення: 16.11.2024).
8. IBM Research. Дослідження квантових обчислень. URL: <https://research.ibm.com/quantum-computing/> (дата звернення: 16.11.2024).
9. Intel Corporation. Процесори Intel Foveros. URL: <https://www.intel.com/content/www/us/en/architecture-and-technology/foveros.html> (дата звернення: 16.11.2024).
10. AMD. Процесори AMD 3D V-Cache. URL: <https://www.amd.com/en/technologies/3d-v-cache> (дата звернення: 16.11.2024).
11. Samsung Electronics. 3D NAND Flash Memory. URL: <https://www.samsung.com/semiconductor/3d-nand-flash-memory/> (дата звернення: 16.11.2024).
12. TSMC. 3D IC Technology. URL: <https://www.tsmc.com/english/products/3d-ic> (дата звернення: 16.11.2024).
13. Intel Corporation. Графенові транзистори. URL: <https://www.intel.com/content/www/us/en/research/graphene-transistors.html> (дата звернення: 16.11.2024).
14. Samsung Electronics. Графенові чіпи. URL: <https://www.samsung.com/semiconductor/graphene-chips/> (дата звернення: 16.11.2024).
15. Various Startups. Прототипи графенових транзисторів. URL: <https://www.startups.com/graphene-transistor-prototypes> (дата звернення: 16.11.2024).

*Азарова Анжеліка Олексіївна* – кандидат технічних наук, професор кафедри менеджменту та безпеки інформаційних систем Вінницького національного технічного університету, м. Вінниця, e-mail: [azarova.angelika@gmail.com](mailto:azarova.angelika@gmail.com)

*Черешнюк Ірина Вадимівна* – студентка групи МФКД-24Б, факультет менеджменту та інформаційної безпеки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

*Angelika Azarova* – Ph.D., Professor at the Department of Management and Information Systems Security, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

*Iryna Cheresnyuk* – student of the MFKD-24B group, Faculty of Management and Information Security, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.