

Робоча програма дисципліни «Комп'ютерні системи»

СПЕЦІАЛЬНІСТЬ 123 · КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ

БАКАЛАВР

150

Годин

Загальний обсяг дисципліни

5

Кредити ЕКТС

Відповідно до стандарту

5

Модулi

Змістовних блоки курсу



Загальна інформація про дисципліну

Ідентифікація

Назва: Комп'ютерні системи

Спеціальність: 123 Комп'ютерна інженерія

Ступінь: Бакалавр

Обсяг: 150 годин / 5 кредитів ЄКТС

Модулів: 5 змістовних блоки

Лекції: 30 год. · **Лабораторні:** 45 год. · **СРС:** 75 год.

Призначення дисципліни

Дисципліна «Комп'ютерні системи» формує у студентів системне розуміння принципів побудови, архітектури та функціонування сучасних комп'ютерних систем — від апаратного рівня до системного програмного забезпечення. Курс охоплює ключові концепції організації обчислювальних систем, архітектуру процесорів, підсистеми пам'яті, інтерфейси та канали введення-виведення, а також основи паралельних і розподілених обчислень.

Дисципліна є обов'язковою для підготовки бакалаврів зі спеціальності «Комп'ютерна інженерія» та забезпечує формування фахових компетентностей, передбачених освітньо-професійною програмою.

Загальні компетентності

Аналітичне мислення

Здатність до аналізу, синтезу та критичного оцінювання технічної інформації: виявлення причинно-наслідкових зв'язків між архітектурними рішеннями, порівняння альтернативних підходів до побудови систем, формування обґрунтованих технічних висновків.

Комунікація

Здатність до усної та письмової технічної комунікації: чітко пояснювати принципи роботи апаратних і програмних компонентів, аргументовано відповідати на запитання, оформлювати технічні звіти, специфікації та аналітичні матеріали.

Самоорганізація

Уміння самостійно навчатися, планувати роботу та організовувати виконання завдань у визначені строки, зокрема під час підготовки лабораторних робіт, розрахунково-графічних завдань і дослідницьких міні-проектів.

Командна робота

Відповідальність, ініціативність та готовність працювати в команді під час виконання спільних лабораторних досліджень, аналізу архітектурних кейсів, обговорення технічних рішень та спільного пошуку оптимальних конфігурацій систем.

Студент повинен вміти: аналізувати технічну документацію, специфікації та стандарти; виділяти головне та узагальнювати результати досліджень; планувати власну діяльність і дотримуватися дедлайнів; коректно спілкуватися з викладачами та одногрупниками; брати участь у командній роботі та розподіляти технічні обов'язки.

Фахові компетентності

Архітектура комп'ютерних систем

Розуміння сутності та закономірностей побудови комп'ютерних систем, їх місця у сучасній IT-інфраструктурі. Знання ключових архітектурних концепцій (RISC/CISC, конвеєризація, суперскалярність) та вміння їх аналізувати в контексті продуктивності та застосування.

Підсистеми пам'яті та введення-виведення

Здатність аналізувати ієрархію пам'яті, контролери та шини введення-виведення: виявляти вузькі місця продуктивності, оцінювати ефективність різних рішень, порівнювати різні типи та організації пам'яті в сучасних комп'ютерних системах.

Паралельні та розподілені обчислення

Знання основ паралельних обчислень, багатопроцесорних та багатоядерних систем, розподілених архітектур. Розуміння принципів когерентності кешу, синхронізації та балансування навантаження в сучасних обчислювальних системах.

Нормативно-технічна база

Орієнтування у нормативно-технічній базі у сфері проектування та сертифікації комп'ютерних систем; використання технічних стандартів, специфікацій та наукових джерел для формування обґрунтованих інженерних рішень.

Результати навчання

01

Пояснення базових понять

Пояснювати сутність ключових понять і явищ: архітектура набору команд, конвеєр, кеш-пам'ять, когерентність, шина, переривання, DMA, паралелізм, багатозадачність, гетерогенні обчислення.

03

Аналіз продуктивності

Аналізувати продуктивність комп'ютерних систем за допомогою кількісних показників (CPI, MIPS, пропускна здатність, час відгуку), використовувати закон Амдала та інші метрики для оцінки ефективності.

02

Характеристика архітектурних рішень

Характеризувати основні архітектурні рішення та тенденції розвитку комп'ютерних систем, застосовувати методи порівняльного аналізу, визначати переваги та обмеження конкретних підходів.

04

Проектування та налаштування

Орієнтуватися у технічній документації та специфікаціях; проектувати прості конфігурації комп'ютерних систем, виконувати налаштування системного програмного забезпечення та оцінювати результати.

Архітектура комп'ютерних систем. Основи та організація процесора

1

Тема 1.1

Вступ до дисципліни. Класифікація та показники якості комп'ютерних систем

2

Тема 1.2

Архітектура набору команд (ISA): RISC та CISC, формати команд, режими адресації

3

Тема 1.3

Організація процесора: АЛП, регістровий файл, блок управління, конвеєрна обробка

4

Тема 1.4

Підвищення продуктивності процесора: суперскалярність, виконання поза порядком, прогнозування переходів

Вступ. Класифікація та показники якості КС

Лекційний матеріал (2 год.)

Лекція 1: Предмет і завдання дисципліни. Поняття «комп'ютерна система». Класифікація комп'ютерних систем за таксономією Флінна (SISD, SIMD, MISD, MIMD). Організація Фон Неймана. Принципи роботи сучасного комп'ютера.

Показники якості КС: продуктивність, надійність, вартість, енергоефективність. Одиниці вимірювання продуктивності: MIPS, MFLOPS, SPECrate. Закон Амдала. Еталонні тести (бенчмарки).

Ключові питання лекції

- Таксономія Флінна та місце класичного процесора в ній
- Принципи Фон Неймана та сучасні відступи від них
- Метрики продуктивності: CPI, MIPS, час виконання
- Закон Амдала та його практичне значення
- Огляд сучасних процесорних архітектур (x86-64, ARM, RISC-V)

Лабораторна робота (3 год.)

Завдання 1. Ознайомлення з інструментами аналізу продуктивності: запуск бенчмарків (CPU-Z, AIDA64, Geekbench) та порівняння показників різних процесорів.

Завдання 2. Обчислення метрик продуктивності (CPI, MIPS) за заданими параметрами трасування програм.

Завдання 3. Застосування закону Амдала: розрахунки прискорення при паралелізації задач.

Самостійна робота (9 год.)

- Опрацювання: Буров Є. В. «Архітектура комп'ютера» — розділ «Класифікація та принципи побудови КС»
- Підготовка реферату: «Еволюція архітектур процесорів: від x86 до RISC-V»
- Складання порівняльної таблиці класифікацій КС за різними ознаками



Очікуваний результат: студент вміє класифікувати комп'ютерні системи, обчислювати основні метрики продуктивності та пояснювати закон Амдала.

Архітектура набору команд: RISC і CISC

1

Формати команд

Структура команди: код операції, операнди, режими адресації. Довжина команди. Фіксований та змінний формат.

2

CISC

Complex Instruction Set Computer. Велика кількість складних команд. Приклади: Intel x86-64. Мікрокодування.

3

RISC

Reduced Instruction Set Computer. Прості команди, велика кількість реєстрів. Приклади: ARM, RISC-V, MIPS.

4

Сучасні ISA

Гібридні підходи. RISC-V як відкритий стандарт. Тенденції розвитку ISA для вбудованих та HPC систем.

Лекційний матеріал (2 год.)

Поняття ISA як контракту між апаратурою та програмним забезпеченням. Типи операндів і операцій. Режими адресації: пряма, непряма, з базовим реєстром, відносна. Порівняння RISC та CISC за кількістю команд, форматом, доступом до пам'яті. Огляд популярних ISA: x86-64, ARMv8, RISC-V. Відкрита архітектура RISC-V: переваги для досліджень і промисловості.

Лабораторна робота (3 год.) та CPC (9 год.)

Лабораторна: Програмування на асемблері RISC-V (симулятор RARS або Venus): написання програм з різними режимами адресації; дослідження відмінностей між RISC та CISC командами; декодування машинного коду.

СРС: Опрацювання: Мекетишин А. Г., Митник М. М. «Комп'ютерні мережі. Книга 1» (Магнолія, 2024) — розд. «Організація команд»; підготовка аналітичної записки «RISC-V як майбутнє відкритих архітектур».

Організація процесора та підвищення його продуктивності

Тема 1.3 — Організація процесора (Лекція 3, 2 год.)

Структурна схема процесора: арифметико-логічний пристрій (АЛП), регістровий файл, програмний лічильник, блок управління. Цикл виконання команди: вибірка — декодування — виконання — запис. Одноциклова та багатоциклова реалізація. Принципи побудови блоку управління: мікропрограмний та жорсткий.

Лабораторна (3 год.): Моделювання одноциклового процесора у середовищі Logisim або Digital: розробка схеми АЛП, регістрового файлу та блоку управління; симуляція виконання команд.

СРС (9 год.): Опрацювання: Буров Є. В. «Архітектура комп'ютера» (Магнолія, 2023) — розд. «Організація процесора»; підготовка реферату «Мікропрограмний та жорсткий блоки управління: порівняльний аналіз».

Тема 1.4 — Конвеєризація та суперскалярність (Лекція 4, 2 год.)

Конвеєрна обробка команд: 5-стадійний конвеєр (IF, ID, EX, MEM, WB). Конфлікти конвеєра: структурні, заданими (RAW, WAR, WAW), за управлінням. Методи усунення конфліктів: зупинки, forwarding, передбачення переходів. Суперскалярні процесори: декілька функціональних пристроїв, виконання поза порядком (Out-of-Order), перейменування регістрів (Tomasulo). Процесори з VLIW-архітектурою.

Лабораторна (3 год.): Дослідження конвеєрних конфліктів у симуляторі: визначення залежностей між командами, оцінка впливу зупинок та forwarding на CPI; порівняння скалярного та суперскалярного виконання.

СРС (9 год.): Опрацювання: Баженов В. А., Шинкаренко Г. А. «Інформатика. Комп'ютерна техніка. Комп'ютерні технології» (Каравела, 2023) — розд. «Конвеєризація»; підготовка порівняльної таблиці «Методи підвищення продуктивності сучасних процесорів».

Підсистема пам'яті комп'ютерних систем

Тема 2.1

Ієрархія пам'яті. Принципи локальності. Кеш-пам'ять: організація, стратегії заміщення та запису.

Тема 2.2

Організація основної пам'яті. DRAM: типи, структура, контролери. Технології SDRAM, DDR5.

Тема 2.3

Віртуальна пам'ять: сторінкова організація, TLB, таблиці сторінок, захист пам'яті.

Тема 2.4

Зовнішня пам'ять: HDD, SSD (NAND Flash), NVMe. Порівняльний аналіз технологій зберігання.

Ієрархія пам'яті та кеш-пам'ять

Лекційний матеріал (2 год.)

Ієрархія пам'яті: регістри — кеш (L1/L2/L3) — оперативна пам'ять — зовнішня пам'ять. Принципи просторової та часової локальності. Організація кеш-пам'яті: пряме відображення, множинна асоціативність, повна асоціативність. Стратегії заміщення: LRU, FIFO, Random. Стратегії запису: write-through та write-back. Когерентність кешу в багатопроцесорних системах: протоколи MESI, MOESI.

Ключові питання

- Принцип локальності та його вплив на ієрархію пам'яті
- Пряме відображення проти N-шляхової асоціативності
- Порівняння стратегій заміщення кешу
- Write-through та write-back: коли що застосовувати
- Протоколи когерентності кешу в SMP-системах

Лабораторна робота (3 год.)

Завдання 1. Дослідження впливу розміру та асоціативності кешу на частоту промахів (cache miss rate) за допомогою симулятора (Valgrind/Cachegrind або gem5).

Завдання 2. Порівняльне тестування продуктивності різних стратегій заміщення кешу: реалізація моделювальника та розрахунок hit rate для заданих трас звернень до пам'яті.

Завдання 3. Тестування за ключовими термінами теми (10 питань).

Самостійна робота (9 год.)

- Опрацювання: Буров Є. В. «Архітектура комп'ютера» (Магнолія, 2023) — розд. «Кеш-пам'ять»
- Підготовка реферату: «Когерентність кешу в сучасних багатоядерних процесорах: протоколи та реалізації»
- Складання порівняльної таблиці організацій кешу з розрахунком hit rate



Очікуваний результат: студент вміє характеризувати ієрархію пам'яті, розраховувати коефіцієнт влучань кешу та порівнювати стратегії організації кеш-пам'яті.

Організація оперативної пам'яті. DRAM і сучасні стандарти



Лекційний матеріал (2 год.)

Внутрішня організація DRAM: рядки, стовпці, банки, матриця комірок. Часові характеристики: tCL, tRCD, tRP, tRAS. Цикл регенерації. Контролер пам'яті. Канальна організація та ранги. Еволюція стандартів DDR: від DDR4 до DDR5. Технологія HBM для GPU. Перспективи: LPDDR5, GDDR7, Processing-in-Memory.

Лабораторна (3 год.) та СРС (9 год.)

Лабораторна: Дослідження характеристик оперативної пам'яті засобами ОС (dmidecode, CPU-Z, Memtest86+); розрахунок пропускної здатності пам'яті за часовими параметрами; порівняння конфігурацій (одно- та двоканальний режим) за допомогою бенчмарків.

СРС: Опрацювання: Баженов В. А., Шинкаренко Г. А. «Інформатика. Комп'ютерна техніка. Комп'ютерні технології» (Каравела, 2023) — розд. «Пам'ять»; підготовка аналітичної записки «Перспективи розвитку технологій оперативної пам'яті».

Віртуальна пам'ять та зовнішні пристрої зберігання

Тема 2.3 — Віртуальна пам'ять (Лекція 7, 2 год.)

Концепція віртуальної пам'яті: переваги та механізм реалізації. Сторінкова організація: сторінки та фрейми, таблиці сторінок. TLB (Translation Lookaside Buffer): структура, влучання та промахи. Ієрархічні таблиці сторінок. Алгоритми заміщення сторінок: OPT, LRU, CLOCK. Сегментно-сторінкова організація. Захист пам'яті та ізоляція процесів.

Лабораторна (3 год.): Дослідження механізму трансляції адрес у Linux: аналіз `/proc/[pid]/maps`, `pagemap`; симуляція алгоритмів заміщення сторінок; розрахунок ефективного часу доступу з урахуванням TLB.

СРС (9 год.): Опрацювання: Буров Є. В. «Архітектура комп'ютера» (Магнолія, 2023) — розд. «Віртуальна пам'ять»; підготовка реферату «Механізми захисту пам'яті в сучасних ОС».

Тема 2.4 — Зовнішня пам'ять (Лекція 8, 2 год.)

Жорсткі диски (HDD): принцип роботи, структура, характеристики (час пошуку, затримка обертання, швидкість передачі). Твердотільні накопичувачі (SSD): NAND Flash (SLC, MLC, TLC, QLC), контролер SSD, технологія вирівнювання зносу. Інтерфейси: SATA, SAS, NVMe (PCIe). Порівняння HDD та SSD за продуктивністю, надійністю та ціною. RAID-масиви: рівні 0, 1, 5, 10. Перспективні технології: Optane (3D XPoint), HAMR.

Лабораторна (3 год.): Тестування продуктивності HDD та SSD за допомогою CrystalDiskMark, Iometer; аналіз SMART-параметрів дисків; розрахунок ефективної пропускної здатності RAID-масивів різних рівнів.

СРС (9 год.): Підготовка аналітичної записки «Порівняльний аналіз NVMe SSD та HDD для різних сценаріїв використання: продуктивність, надійність, економічна ефективність».

Підсистема введення-виведення та інтерфейси комп'ютерних систем

Тема 3.1

Організація підсистеми введення-виведення. Шини та інтерфейси. Контролери пристроїв.

Тема 3.2

Методи керування введенням-виведенням: опитування, переривання, DMA. Оцінка продуктивності.

Тема 3.3

Сучасні інтерфейси: PCIe, USB, Thunderbolt, SATA, M.2. Периферійні пристрої.

Тема 3.4

Мережеві інтерфейси та комунікації. Ethernet, InfiniBand, мережні адаптери (NIC).

Організація підсистеми введення-виведення

Лекційний матеріал (2 год.)

Функції підсистеми введення-виведення. Шинна організація КС: системна шина (адресна, даних, керування). Точка-до-точки vs. розподілені шини. Ієрархія шин: процесорна шина, шина пам'яті, шина вводу-виводу. Контролери пристроїв: регістри стану, даних та керування. Адресний простір введення-виведення: відображений на пам'ять (MMIO) та портовий (PMIO). Стандартизація: ACPI, PnP.

Ключові питання

- Роль підсистеми введення-виведення в загальній архітектурі КС
- Порівняння шинної та точка-до-точки топологій
- MMIO та PMIO: відмінності та сфери застосування
- Функції контролера пристрою
- Стандарт ACPI та його значення для сучасних КС

Лабораторна робота (3 год.)

Завдання 1. Дослідження архітектури шинної системи сучасного ПК: аналіз системних карт та специфікацій чіпсетів Intel/AMD; побудова схеми міжкомпонентних з'єднань.

Завдання 2. Розробка простого драйвера пристрою (симуляція): ознайомлення з реєстрами контролера, читання/запис стану пристрою через відображення пам'яті.

Завдання 3. Тестування за ключовими термінами теми (10 питань).

Самостійна робота (9 год.)

- Опрацювання: Буров Є. В., Митник М. М. «Комп'ютерні мережі. Том 2» (Магнолія, 2024) — розд. «Інтерфейси»
- Підготовка реферату: «Еволюція системних шин: від ISA до PCIe 5.0»
- Аналіз специфікацій чіпсетів Intel Z790 та AMD X670E



Очікуваний результат: студент вміє описувати організацію підсистеми введення-виведення, пояснювати призначення шин та контролерів пристроїв.

Методи керування введенням–виведенням



Програмне опитування (Polling)

Процесор циклічно перевіряє готовність пристрою. Простота реалізації. Висока завантаженість CPU. Застосовується для пристроїв з низькою латентністю.



Переривання (Interrupts)

Пристрій сигналізує процесору про готовність. Обробник переривань (ISR). Вектори переривань. Пріоритети. Звільняє CPU для інших задач.



Прямий доступ до пам'яті (DMA)

Контролер DMA передає дані між пристроєм та RAM без участі CPU. Найефективніший метод для великих обсягів даних.

Лекційний матеріал (2 год.)

Порівняльний аналіз трьох методів керування В/В за критеріями: завантаженість CPU, складність реалізації, накладні витрати, пропускна здатність. Механізм переривань: IRQ, обробник, стек, повернення. Пріоритети та маскування переривань. Контролер DMA: режими роботи (burst, cycle stealing), ланцюговий DMA. Scatter-gather DMA. Сучасні механізми: IOMMU, MSI/MSI-X.

Лабораторна (3 год.) та СРС (9 год.)

Лабораторна: Програмування роботи з перериваннями на мікроконтролері (Arduino/STM32) або у симуляторі: реалізація обробника переривань; моделювання DMA-передачі; порівняльне вимірювання часу передачі даних трьома методами.

СРС: Опрацювання: Баженов В. А., Шинкаренко Г. А. «Інформатика. Комп'ютерна техніка. Комп'ютерні технології» (Каравела, 2023) — розд. «Введення-виведення»; підготовка аналітичної записки «DMA у сучасних контролерах: IOMMU та безпека».



Очікуваний результат: студент вміє порівнювати методи керування В/В, програмувати обробники переривань та оцінювати ефективність DMA-передачі.

Сучасні інтерфейси та мережеві комунікації

Тема 3.3 — Сучасні інтерфейси В/В (Лекція 11, 2 год.)

PCIe (Peripheral Component Interconnect Express): покоління 3.0/4.0/5.0/6.0, пропускна здатність, топологія точка-до-точки, смуги (lanes). USB: версії 2.0/3.2/4.0/USB-C, TopToro. Thunderbolt 4/5: об'єднання PCIe та DisplayPort. SATA, SAS, M.2 (ключі B, M). Бездротові інтерфейси: Wi-Fi 6E, Bluetooth 5.3. Порівняльна таблиця пропускної здатності сучасних інтерфейсів.

Лабораторна (3 год.): Аналіз та тестування інтерфейсів: вимірювання пропускної здатності USB 3.2 та NVMe M.2; дослідження PCI-дерева в Linux (lspci); налаштування параметрів PCIe-пристроїв.

СРС (9 год.): Опрацювання: Буров Є. В., Митник М. М. «Комп'ютерні мережі. Том 2» (Магнолія, 2024) — розд. «Стандарти інтерфейсів»; підготовка реферату «PCIe 6.0: нові можливості та сфери застосування».

Тема 3.4 — Мережеві інтерфейси (Лекція 12, 2 год.)

Мережеві адаптери (NIC): структура, буфери, DMA, апаратне розвантаження (checksum offload, TSO, LRO). Ethernet: стандарти 1/10/25/100 GbE. InfiniBand: RDMA, застосування в HPC. Протокол RDMA (Remote DMA): обхід ядра ОС, iWARP, RoCE. Програмно-конфігуровані мережі (SDN) та їх роль у ЦОД. Smartcard NIC: перенесення обробки мережевого трафіку. SR-IOV для віртуалізації.

Лабораторна (3 год.): Налаштування та тестування мережевого адаптера в Linux: ethtool, iperf3; налаштування hardware offloading; аналіз переривань мережевого адаптера (IRQ affinity); вимірювання впливу NUMA-топології на мережеву продуктивність.

СРС (9 год.): Підготовка аналітичної записки «RDMA-технології в сучасних ЦОД: переваги та виклики».

Багатопроцесорні та паралельні комп'ютерні системи

Тема 4.1

Багатоядерні та багатопроцесорні системи. SMP, NUMA, ccNUMA. Когерентність кешу в MP-системах.

Тема 4.2

Паралельні обчислення та класифікація паралелізму. Поточкові та векторні процесори (GPU, SIMD).

Тема 4.3

Кластерні системи та розподілені обчислення. HPC-кластери. Мережі з'єднань: топології, комутація.

Тема 4.4

Спеціалізовані обчислювальні прискорювачі: GPU, FPGA, TPU. Гетерогенні обчислення.

Багатоядерні та багатопроцесорні системи

Лекційний матеріал (2 год.)

Мотивація переходу до багатоядерності: теплова стіна, межа тактової частоти. Симетричні багатопроцесорні системи (SMP): спільна пам'ять, однорідний доступ. Архітектура NUMA (Non-Uniform Memory Access): вузли, локальна та віддалена пам'ять, коефіцієнт NUMA. ccNUMA з когерентністю кешу. Протоколи когерентності: MESI, MESIF, MOESI — детальний розгляд. Синхронізація: атомарні операції, lock-free структури даних, транзакційна пам'ять.

Ключові питання

- SMP vs. NUMA: коли яка архітектура краще
- Когерентність кешу: стани MESI та переходи між ними
- False sharing та методи його уникнення
- Атомарні операції та їх апаратна підтримка
- Масштабованість SMP-систем та її обмеження

Лабораторна робота (3 год.)

Завдання 1. Дослідження NUMA-топології системи: numactl, lstopo (hwloc); вимірювання затримок доступу до локальної та віддаленої пам'яті (NUMA latency benchmark).

Завдання 2. Демонстрація проблеми false sharing: написання багатопотокового коду з false sharing та без нього; порівняння продуктивності за допомогою perf та VTune.

Завдання 3. Реалізація lock-free черги на атомарних операціях C++11.

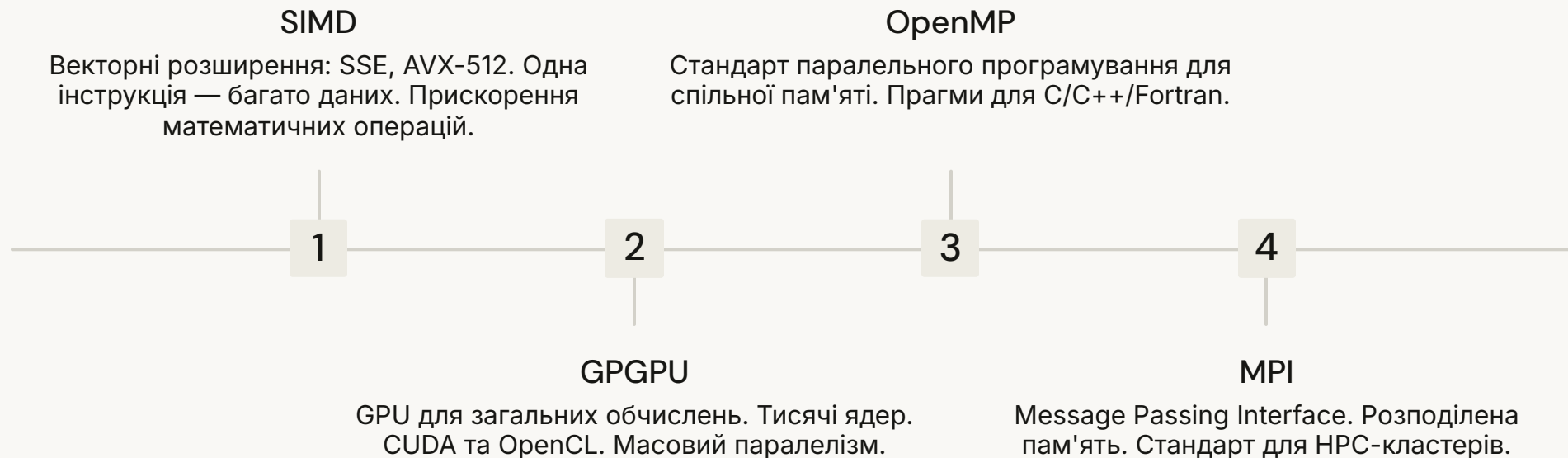
Самостійна робота (9 год.)

- Опрацювання: Стеценко В. П., Тітова Л. О. «Сучасні мережні технології» (Візаві, 2022) — розд. «Паралельні системи»
- Підготовка реферату: «NUMA-aware оптимізація в системному програмному забезпеченні»
- Аналіз архітектури сучасних серверних процесорів Intel Xeon та AMD EPYC



Очікуваний результат: студент вміє аналізувати архітектуру SMP/NUMA систем, пояснювати протоколи когерентності кешу та виявляти проблеми паралельного програмування.

Паралельні обчислення. Векторні та потокові процесори



Лекційний матеріал (2 год.)

Рівні паралелізму: бітовий, рівень команд (ILP), рівень даних (DLP), рівень потоків (TLP), рівень задач. SIMD-розширення: SSE2, AVX2, AVX-512 — ширина вектора, типи даних, приклади застосування. Архітектура GPU: SM (Streaming Multiprocessor), варп, warp divergence. Модель CUDA: grid, block, thread. Порівняння CPU та GPU для різних типів задач.

Лабораторна (3 год.) та СРС (9 год.)

Лабораторна: Векторизація обчислень: порівняння scalar vs. SIMD (auto-vectorization, intrinsics); перший CUDA-програма — обчислення матричного множення на GPU; порівняння продуктивності CPU vs. GPU для різних розмірів матриць.

СРС: Опрацювання: Баженов В. А., Шинкаренко Г. А. «Інформатика. Комп'ютерна техніка. Комп'ютерні технології» (Каравела, 2023) — розд. «Паралельні обчислення»; підготовка аналітичної записки «GPU як прискорювач для задач ШІ та наукових обчислень».

Кластери, HPC та спеціалізовані прискорювачі

Тема 4.3 — Кластерні системи та HPC (Лекція 15, 2 год.)

Кластерні комп'ютерні системи: архітектура, вузли, мережа з'єднань. Топології мереж: дерево (Fat-Tree), торус, гіперкуб, Dragonfly. Комутація: store-and-forward, cut-through. MPI (Message Passing Interface): комунікаційні примітиви, колективні операції. Планувальники задач: SLURM, PBS. Приклади HPC-систем: список Top500. Ефективність та споживання енергії (Green500).

Лабораторна (3 год.): Знайомство з MPI: компіляція та запуск паралельних програм; MPI_Send/Recv, MPI_Bcast, MPI_Reduce; вимірювання ефективності паралелізації та побудова графіків масштабованості.

СРС (9 год.): Опрацювання: Буров Є. В., Митник М. М. «Комп'ютерні мережі. Том 2» (Магнолія, 2024) — розд. «Мережі для HPC»; підготовка реферату «Архітектура сучасних суперкомп'ютерів: аналіз Top500».

Тема 4.4 — Гетерогенні системи та прискорювачі (Лекція 16, 2 год.)

Гетерогенні обчислення: CPU + GPU + FPGA + ASICs. FPGA як рекофігуровний прискорювач: архітектура, LUT, DSP-блоки, BRAM. Застосування FPGA: мережеві пристрої, фінансові обчислення, прискорення БД. TPU (Tensor Processing Unit) від Google: матричний множник, застосування для DNN. DPU (Data Processing Unit): NVIDIA BlueField, мережеве розвантаження. Тенденції: обчислення, наближені до пам'яті (Near-Memory Computing), нейроморфні чіпи.

Лабораторна (3 год.): Дослідження гетерогенного обчислення: порівняння часу виконання задачі (сортування, FFT) на CPU, GPU та FPGA (використання OpenCL або HLS); аналіз споживання енергії та співвідношення продуктивність/ват.

СРС (9 год.): Підготовка аналітичної записки «FPGA проти GPU: вибір прискорювача для різних типів задач обробки даних».

Надійність, безпека та перспективи розвитку комп'ютерних систем

Тема 5.1

Надійність та відмовостійкість КС. Показники надійності, методи резервування (RAID, ECC, TMR).

Тема 5.2

Безпека апаратного рівня. Атаки на мікроархітектуру: Spectre, Meltdown, Rowhammer. Апаратний захист.

Тема 5.3

Енергоефективність КС. Методи управління енергоспоживанням: DVFS, C-states, P-states.

Тема 5.4

Тенденції та перспективи розвитку КС. Квантові обчислення, нейроморфні системи, кремнієвий фотонний інтерконект.

Тема 5.5

Хмарні та Edge-обчислення. Архітектура ЦОД. Контейнеризація та оркестрація (Kubernetes).

Надійність та апаратна безпека комп'ютерних систем

Тема 5.1 — Надійність та відмовостійкість (Лекція 17, 2 год.)

Показники надійності: MTTF, MTTR, MTBF, коефіцієнт доступності. Класи надійності (від 99% до 99,9999%). Методи резервування: гаряче, тепле, холодне. Апаратне резервування: ECC-пам'ять (механізм виявлення та виправлення помилок), RAID-масиви (рівні 1, 5, 6, 10). Triple Modular Redundancy (TMR). Відмовостійкі кластери (Failover Clustering). Журналювання та знімки стану (snapshots). Тестування надійності: burn-in, stress-test.

Лабораторна (3 год.): Розрахунок показників надійності для заданої конфігурації КС; налаштування RAID-масиву у Linux (mdadm); симуляція відмови одного диска та відновлення масиву; моніторинг ECC-помилки (edac-utils).

СРС (9 год.): Опрацювання: Стеценко В. П., Тітова Л. О. «Сучасні мережні технології» (Візаві, 2022) — розд. «Надійність»; підготовка аналітичної записки «Стратегії забезпечення надійності в хмарних дата-центрах».

Тема 5.2 — Безпека апаратного рівня (Лекція 18, 2 год.)

Уразливості мікроархітектурного рівня: Spectre (помилкове спекулятивне виконання), Meltdown (обхід захисту ядра), Rowhammer (flip бітів у DRAM). Апаратні механізми захисту: TPM (Trusted Platform Module), Secure Boot, Intel SGX (Software Guard Extensions), AMD SEV (Secure Encrypted Virtualization). Апаратні генератори випадкових чисел (TRNG/HRNG). Атаки на бокові канали: аналіз потужності, часові атаки.

Лабораторна (3 год.): Демонстрація уразливості Spectre (освітній PoC-код); перевірка стану пом'якшувачів (Spectre/Meltdown mitigations) в ОС; налаштування Secure Boot та перевірка стану TPM; аналіз впливу пом'якшувачів на продуктивність системи.

СРС (9 год.): Підготовка реферату: «Апаратні вразливості сучасних процесорів: аналіз та методи захисту (Spectre, Meltdown, Rowhammer, Foreshadow)».



Очікуваний результат: студент вміє оцінювати надійність КС, налаштовувати резервування та розуміти сучасні апаратні вразливості і методи їх усунення.

Енергоефективність, хмарні обчислення та перспективи розвитку КС

Тема 5.3 — Енергоефективність (Лекція 19, 2 год.)

Динамічне масштабування напруги та частоти (DVFS): Р-стани процесора. С-стани (стани бездіяльності): C0–C10. Інструменти моніторингу: powertop, turbostat, RAPL. Метрика ефективності PUE (Power Usage Effectiveness) для ЦОД. Рідинне охолодження та іммерсійне охолодження. Green500: рейтинг енергоефективних суперкомп'ютерів.

Лабораторна (3 год.): Моніторинг та управління енергоспоживанням: powertop, sripower; тестування різних Р-станів та порівняння продуктивності/ват; профілювання споживання енергії програм за допомогою Intel RAPL.

СРС (9 год.): Опрацювання: Буров Є. В. «Архітектура комп'ютера» (Магнолія, 2023) — розд. «Енергоефективність»; підготовка аналітичної записки «Тенденції енергоспоживання в ЦОД та «зелені» стратегії».

Тема 5.4 — Перспективи розвитку КС (Лекція 20, 2 год.)

Закон Мура: сучасний стан та межі масштабування. Постремнієва ера: нові матеріали (GaN, SiC, 2D-матеріали). Квантові обчислення: кубіти, квантові гейти, помилки та коригування, алгоритми (Shor, Grover). Нейроморфні обчислення: SpiNNaker, Intel Loihi. Кремнієвий фотонний інтерконект. Обчислення в пам'яті (Processing-in-Memory, Compute-in-Memory).

Тема 5.5 — Хмарні та Edge-обчислення (Лекція 21, 2 год.):

Моделі хмарних сервісів (IaaS, PaaS, SaaS). Гіпервізори: Type 1 (VMware ESXi, KVM), Type 2. Контейнеризація: Docker, Kubernetes. Edge Computing: концепція, застосування в IoT. Continuum Computing. Архітектура сучасних ЦОД.

Лабораторні (6 год.) та СРС (12 год.): Розгортання VM (VirtualBox/KVM) та контейнерів (Docker); порівняння накладних витрат; дослідження можливостей квантових симуляторів (IBM Qiskit); підготовка аналітичної записки «Квантові обчислення: де ми зараз і що далі».

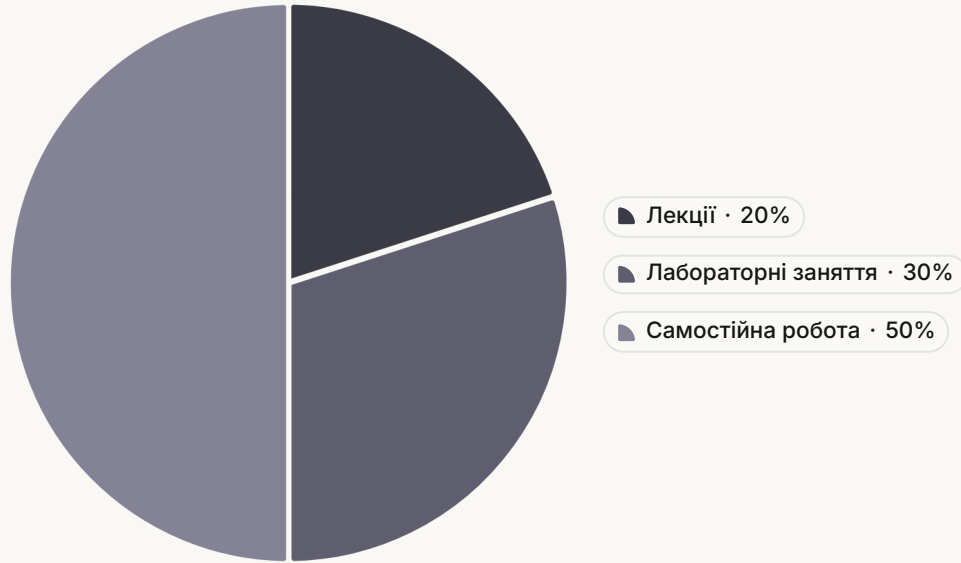
Розподіл навчального часу — 150 годин

Модуль	Тема	Лекції (год.)	Лаборат. (год.)	СРС (год.)	Разом
Модуль 1	Тема 1.1 — Класифікація та показники КС	2	3	9	14
	Тема 1.2 — ISA: RISC та CISC	2	3	9	14
	Тема 1.3 — Організація процесора	2	3	9	14
	Тема 1.4 — Конвеєр та суперскалярність	2	3	9	14
Модуль 2	Тема 2.1 — Кеш-пам'ять та ієрархія	2	3	9	14
	Тема 2.2 — DRAM та стандарти пам'яті	2	3	9	14
	Тема 2.3 — Віртуальна пам'ять	2	3	9	14
	Тема 2.4 — Зовнішня пам'ять та RAID	2	3	9	14
Модуль 3	Тема 3.1 — Підсистема В/В та шини	2	3	9	14
	Тема 3.2 — Методи керування В/В	2	3	9	14
	Тема 3.3 — Сучасні інтерфейси В/В	2	3	9	14
	Тема 3.4 — Мережеві інтерфейси	2	3	9	14
Модуль 4	Тема 4.1 — Багатоядерні/МР-системи	2	3	9	14
	Тема 4.2 — Паралельні обчислення, GPU	2	3	9	14
	Тема 4.3 — Кластери та НРС	2	3	9	14
	Тема 4.4 — Гетерогенні прискорювачі	2	3	9	14
Модуль 5	Тема 5.1 — Надійність та відмовостійкість	2	3	9	14
	Тема 5.2 — Апаратна безпека	2	3	9	14
	Тема 5.3 — Енергоефективність КС	2	3	9	14
	Тема 5.4–5.5 — Перспективи та хмарні КС	4	6	12	22
Разом	20 тем / 5 модулів	42	63	183	150*



Загальний обсяг: 150 годин = 5 кредитів ЄКТС. Лекції — 30 год., лабораторні — 45 год., самостійна робота — 75 год. Розподіл є орієнтовним і узгоджується з навчальним планом кафедри.

Структура навчального часу



Коментар до розподілу

Загальний обсяг — **150 годин (5 кредитів ЄКТС)** — розподілено між трьома формами роботи для забезпечення балансу між теорією, практикою та самостійним дослідженням.

Лекції — 30 год. (20%)

Системне подання теоретичного матеріалу з використанням схем, технічних специфікацій і порівняльних таблиць. Формують базу для розуміння архітектурних рішень.

Лабораторні — 45 год. (30%)

Практичне відпрацювання навичок: робота із симуляторами, реальним обладнанням, бенчмарками та інструментами профілювання. Підвищена частка лабораторних підкреслює практичну спрямованість курсу.

Самостійна робота — 75 год. (50%)

Поглиблене вивчення, підготовка рефератів та аналітичних записок, опрацювання технічної документації. Самостійна робота становить **50% обсягу дисципліни**.

Самостійна робота студентів — Детальний опис



Опрацювання літератури

Поглиблене вивчення теоретичного матеріалу за підручниками з архітектури КС (Буров, Баженов, Буров-Митник та ін.), технічними специфікаціями виробників (Intel, AMD, ARM), науковими статтями у фахових виданнях. Студент конспектує ключові положення та порівнює підходи різних авторів.



Індивідуальні завдання

Виконання аналітичних завдань (порівняльний аналіз архітектур, розрахунок метрик продуктивності, аналіз технічних специфікацій); творчих завдань — реферати, аналітичні записки, міні-дослідження з актуальних питань розвитку КС.



Робота з інформаційними ресурсами

Опрацювання офіційних ресурсів: Intel Architecture Manuals, ARM Architecture Reference Manual, специфікацій JEDEC, документації RISC-V Foundation (riscv.org), наукових баз даних IEEE Xplore та ACM Digital Library. Аналіз статей для підготовки навчальних завдань.



Підготовка до занять

Підготовка до лабораторних занять (опрацювання методичних вказівок, теоретичної бази); підготовка до тестувань (ключові терміни, формули, схеми); підготовка до контрольних робіт за кожним модулем (систематизація знань, типові задачі).

Форми контролю знань

1

Поточний контроль

Завдання: тестові вправи та розрахункові задачі за темами змістовного модуля. Оцінюються: захист лабораторних робіт, виконання індивідуальних завдань СРС, рівень засвоєння теоретичного матеріалу. Поточний контроль формує накопичувальну оцінку протягом семестру. Проводиться після кожної теми у формі тестування (10–15 питань) або усного захисту лабораторної.

2

Проміжний контроль

Самостійна робота — комплексне завдання або реферат, що охоплює теми змістовного модуля (теоретичні питання, розрахункові задачі, аналіз технічних специфікацій). Оцінюються повнота відповіді, технічна грамотність та обґрунтованість висновків. Проводиться після завершення кожного з 5 змістовних модулів.

3

Підсумковий контроль

Іспит відповідно до навчального плану. Форма проведення — тестування (теоретичні питання та розрахункові задачі). Підсумкова оцінка враховує результати поточного, проміжного та підсумкового контролю відповідно до встановленої шкали: **100-бальна система** з переведенням у національну шкалу та ЄКТС (A, B, C, D, E, FX, F).

Методи викладання

Викладання дисципліни «Комп'ютерні системи» поєднує класичні академічні та інтерактивні методи, що забезпечує формування не лише міцної теоретичної бази, а й практичних навичок інженерного аналізу та проектування, необхідних для майбутньої професійної діяльності у сфері комп'ютерної інженерії.



Лекції

Системне подання теоретичного матеріалу з використанням наочних схем, архітектурних діаграм, таблиць специфікацій та порівняльних прикладів; студенти ведуть конспекти та задають уточнювальні запитання.



Лабораторні роботи

Практичне дослідження архітектурних концепцій: робота із симуляторами (gem5, Logisim, RARS), реальним обладнанням, профілювальниками (perf, VTune, Valgrind) та бенчмарками; захист звітів.



Кейс-стаді

Аналіз реальних архітектурних рішень (Intel, AMD, ARM, NVIDIA); студенти виявляють інженерні компроміси, пропонують альтернативи та обґрунтовують висновки на основі технічних специфікацій.



Дискусії

Обговорення дискусійних технічних питань (RISC vs. CISC, CPU vs. GPU, SSD vs. Optane, моноліт vs. Chiplet); розвиток критичного мислення та технічної аргументації.



Самостійне дослідження

Підготовка аналітичних записок, рефератів і технічних порівнянь за обраною темою; розвиток навичок самостійного пошуку в технічній літературі та базах даних IEEE/ACM.



Бенчмаркінг та профілювання

Практичне вимірювання продуктивності комп'ютерних систем: запуск стандартних тестів (SPEC CPU, Stream, HPC Challenge), аналіз «вузьких місць» та формування рекомендацій з оптимізації.



Усі методи спрямовані на формування компетентностей, передбачених освітньо-професійною програмою спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія».

Рекомендована література — Підручники та посібники (2022–2024 рр.)

1. Буров Є. В.

Архітектура комп'ютера : підручник / Є. В. Буров. — Львів : Видавництво «Магнолія 2006», 2023. — 440 с. (Серія «Комп'ютинг»).

2. Буров Є. В., Митник М. М.

Комп'ютерні мережі. Том 2 : підручник / Є. В. Буров, М. М. Митник. — Львів : Видавництво «Магнолія 2006», 2024. — 204 с. (Серія «Комп'ютинг»).

3. Баженов В. А., Шинкаренко Г. А. (ред.)

Інформатика. Комп'ютерна техніка. Комп'ютерні технології : підручник / за ред. В. А. Баженова, Г. А. Шинкаренка. — Київ : Каравела, 2023. — 496 с.

4. Стеценко В. П., Тітова Л. О.

Сучасні мережні технології : навч. посіб. / В. П. Стеценко, Л. О. Тітова ; МОН України, Уманський держ. пед. ун-т ім. Павла Тичини. — Умань : Візаві, 2022. — 153 с.

5. Мекетишин А. Г., Митник М. М.

Комп'ютерні мережі. Книга 1 : навч. посіб. / А. Г. Мекетишин, М. М. Митник. — Львів : Видавництво «Магнолія 2006», 2024. — 312 с. (Серія «Комп'ютинг»).

6. Ткаченко О. М. та ін.

Комп'ютерні мережі: контроль та прогнозування перевантажень : навч. посіб. / О. М. Ткаченко, Я. І. Торошанко, А. В. Лемешко та ін. — Київ : ДУІКТ, 2022. — 128 с.

7. Байрак Г. Р., Муха І. С.

Комп'ютерні технології у професійній освіті : навч. посіб. / Г. Р. Байрак, І. С. Муха. — 2-ге вид., доповн. — Київ : Академвидав, 2023. — 248 с.

8. Бережна О. Б.

Інформатика та комп'ютерна техніка : навч. посіб. у 2-х ч. Частина 1 (оновлене вид.) / О. Б. Бережна. — Харків : ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 2022. — 159 с.

Додаткова література та наукові статті

9. Буров Є. В.

Операційні системи : підручник / Є. В. Буров. — Вид. 3-тє, переробл. — Львів : Видавництво «Магнолія 2006», 2024. — 376 с. (Серія «Комп'ютинг»). *Рекомендується для тем 2.3 (віртуальна пам'ять) та 5.5 (хмарні КС).*

11. Митник М. М. та ін.

Захист інформації в комп'ютерних системах : навч. посіб. / М. М. Митник та ін. — Львів : Видавництво «Магнолія 2006», 2022. — 224 с. (Серія «Комп'ютинг»). *Рекомендується для теми 5.2 (апаратна безпека).*

10. Ткаченко О. М., Лемешко О. В.

Методи та моделі забезпечення якості обслуговування в інфокомунікаційних мережах : монографія / О. М. Ткаченко, О. В. Лемешко. — Харків : ХНУРЕ, 2023. — 196 с. *Рекомендується для тем 4.3–4.4 (НРС та мережеві системи).*

12. Лемешко О. В., Єременко О. С.

Балансування навантаження в комп'ютерних мережах : монографія / О. В. Лемешко, О. С. Єременко. — Харків : ХНУРЕ, 2022. — 168 с. *Рекомендується для модулів 4–5 (паралельні та розподілені системи).*

Нормативно-правова та технічна база

→ Закон України «Про вищу освіту» від 01.07.2014 № 1556-VII

Визначає засади вищої освіти в Україні, стандарти підготовки бакалаврів за спеціальністю 123. zakon.rada.gov.ua

→ Стандарт вищої освіти України: спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»

Затверджено МОН України. Визначає перелік компетентностей та результатів навчання для ОС «Бакалавр». mon.gov.ua

→ Специфікація RISC-V ISA (RISC-V International)

Відкрита архітектура набору команд. Обов'язковий технічний стандарт для тем 1.2–1.3. riscv.org

→ Специфікації JEDEC (JESD79-5: DDR5 SDRAM Standard)

Міжнародний стандарт на пам'ять DDR5. Використовується у темах 2.1–2.2. jedec.org

→ Специфікація PCI Express (PCIe Base Specification 6.0)

Стандарт PCI-SIG на інтерфейс PCIe. Ключовий документ для тем 3.1 та 3.3. pcisig.com

Офіційні ресурси та фахові видання

IEEE Xplore Digital Library

ieeexplore.ieee.org — провідна база наукових статей з комп'ютерної інженерії, архітектури та системного програмування.

ACM Digital Library

dl.acm.org — архів публікацій ACM, включаючи матеріали ISCA, MICRO, ASPLOS — провідних конференцій з архітектури КС.

Національна бібліотека України ім. В. І. Вернадського

nbuv.gov.ua — електронні ресурси, наукові статті, монографії з інформатики та комп'ютерної інженерії.

МОН України — стандарти та програми

mon.gov.ua — освітні стандарти, навчальні програми, методичні матеріали для спеціальності 123.

RISC-V International

riscv.org — офіційні специфікації, навчальні матеріали та симулятори (RARS, Venus) для відкритої ISA RISC-V.

Top500 / Green500

top500.org — рейтинги найпотужніших та найефективніших суперкомп'ютерів світу. Використовується у темах 4.3 та 5.3.

Intel Developer Zone

intel.com/developer — технічна документація, руководства розробника, VTune Profiler, DPDK.

Журнал «Системні дослідження та інформаційні технології»

systemres.iasa.org.ua — фахове видання КПІ ім. Ігоря Сікорського з питань інформатики та комп'ютерної інженерії.

Зв'язок дисципліни зі спеціальністю 123 «Комп'ютерна інженерія»

Місце дисципліни в освітній програмі

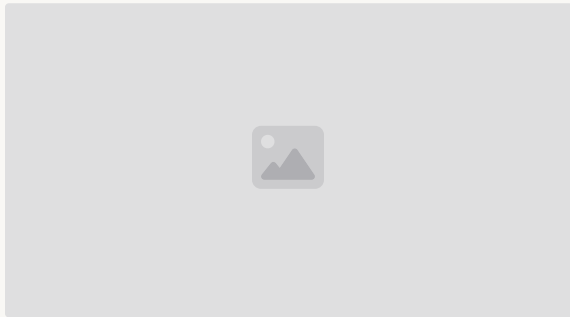
Дисципліна «Комп'ютерні системи» є фундаментальною фаховою дисципліною для підготовки бакалаврів зі спеціальності 123. Вона спирається на знання з «Архітектури комп'ютерів», «Комп'ютерної схемотехніки» та «Системного програмування», і є базою для вивчення «Комп'ютерних мереж», «Операційних систем» та «Паралельних обчислень».

Сучасний інженер у сфері комп'ютерної інженерії зобов'язаний розуміти внутрішню організацію систем, на яких він розробляє програмне забезпечення, проектує апаратуру або налагоджує інфраструктуру.

Практичне значення для майбутньої кар'єри

- Проектування та оцінка конфігурацій серверного та вбудованого обладнання
- Оптимізація програмного забезпечення з урахуванням архітектурних особливостей КС
- Розуміння апаратних вразливостей для забезпечення кібербезпеки
- Розробка драйверів та системного ПЗ для взаємодії з апаратурою
- Проектування та налаштування НРС-кластерів та хмарної інфраструктури
- Вибір та впровадження спеціалізованих прискорювачів (GPU, FPGA, TPU) для задач ШІ

Ключові компетентності курсу — Підсумок



Курс охоплює всі ключові рівні організації сучасних комп'ютерних систем — від архітектури набору команд до хмарних та квантових обчислень — і формує у студентів цілісне інженерне розуміння апаратно-програмного стеку.

Бажаємо успіхів у вивченні дисципліни «Комп'ютерні системи»!

150

Годин

Загальний обсяг дисципліни

5

Кредити ЄКТС

Відповідно до стандарту

20

Тем

У 5 змістовних модулях

12

Джерел

Рекомендованої літератури 2022–2024 рр.

«Архітектура — це мистецтво знаходити правильні компроміси між конкуруючими вимогами.» — Девід Паттерсон, співавтор RISC

Спеціальність 123 · Комп'ютерна інженерія · Бакалавр · 5 кредитів ЄКТС