



Силабус дисципліни «Паралельні та розподілені обчислення»

СПЕЦІАЛЬНІСТЬ 123 · КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ · БАКАЛАВР

120

Годин загальний обсяг дисципліни

4

Кредити ЄКТС відповідно до
стандарту

4

Змістовних модулів курсу

Загальна інформація про дисципліну

Ідентифікація

Назва: Паралельні та розподілені обчислення

Спеціальність: 123 Комп'ютерна інженерія

Ступінь: Бакалавр

Обсяг: 120 годин / 4 кредити ЄКТС

Модулів: 4 змістовних блоки курсу

Мета дисципліни

Дисципліна «Паралельні та розподілені обчислення» формує у студентів спеціальності «Комп'ютерна інженерія» системне розуміння принципів побудови та програмування паралельних і розподілених обчислювальних систем. Курс спрямований на опанування технологій паралельного програмування, розпаралелювання алгоритмів, побудови розподілених і хмарних систем. Особлива увага приділяється практичним навичкам роботи з сучасними інструментами: OpenMP, MPI, хмарними та ґрід-платформами.

Форми навчання

- Лекції — 45 годин
- Лабораторні заняття — 15 годин
- Самостійна робота — 60 годин

Компетентності та результати навчання

Загальні компетентності

Здатність до аналізу, синтезу та критичного оцінювання технічної інформації у контексті паралельних і розподілених обчислень: виявлення оптимальних архітектурних рішень, порівняння підходів до розпаралелювання, формування обґрунтованих технічних висновків. Уміння самостійно навчатися, планувати та організовувати виконання практичних завдань у визначені строки.

Здатність до усної та письмової технічної комунікації: чітко пояснювати концепції паралельного програмування, аргументовано захищати проєктні рішення, оформлювати звіти з лабораторних робіт. Відповідальність, ініціативність та готовність працювати в команді над розробкою розподілених програмних систем.

- Аналізувати навчальну та наукову технічну інформацію
- Виділяти головне та узагальнювати результати досліджень
- Планувати власну діяльність і дотримуватися дедлайнів
- Коректно спілкуватися з викладачами та одногрупниками
- Брати участь у командній розробці програмних систем

Фахові компетентності

Розуміння архітектур паралельних обчислювальних систем (класифікація Флінна, SIMD, MIMD), принципів побудови розподілених систем та хмарних платформ. Знання основних технологій паралельного програмування: OpenMP, MPI, CUDA, їх особливостей та галузей застосування.

Здатність застосовувати методи розпаралелювання алгоритмів, оцінювати продуктивність паралельних програм (закони Амдала і Густавсона), проєктувати розподілені системи з урахуванням вимог до масштабованості, надійності та безпеки.

- Характеризувати архітектури паралельних і розподілених систем
- Розробляти паралельні програми з використанням OpenMP та MPI
- Оцінювати ефективність паралельних обчислень
- Проєктувати розподілені застосунки та мікросервіси
- Застосовувати хмарні та ґрід-технології для розв'язання задач

Результати навчання

Після успішного завершення курсу студент повинен демонструвати такі результати навчання:

1

Знання та розуміння

Пояснювати сутність ключових понять: паралелізм, конкурентність, синхронізація, взаємне виключення, тупик, балансування навантаження, масштабованість, відмовостійкість. Характеризувати архітектури паралельних обчислювальних машин та моделі паралельного програмування.

2

Аналіз та оцінювання

Аналізувати алгоритми на предмет можливості розпаралелювання, оцінювати прискорення та ефективність паралельних програм за законом Амдала. Порівнювати підходи до синхронізації, вибирати оптимальні технології для конкретних задач.

3

Застосування знань

Розробляти паралельні програми з використанням технологій OpenMP та MPI, реалізовувати розподілені застосунки на основі клієнт-серверної архітектури та мікросервісів. Налаштовувати та профілювати паралельні програми для підвищення їх продуктивності.

4

Комунікація та рефлексія

Аргументовано представляти технічні рішення щодо архітектури паралельних і розподілених систем. Оформлювати технічну документацію, звіти з лабораторних робіт та пояснювальні записки до проєктів.

Модуль 1. Основи паралельних обчислень та архітектури систем

ЗМІСТОВНИЙ МОДУЛЬ 1

Тема 1.1

Вступ до паралельних обчислень. Цілі та задачі паралельних обчислень. Обмеження продуктивності однопроцесорних систем. Поняття паралелізму та конкурентності. Таксономія паралельних обчислень. Закон Амдала та закон Густавсона. Показники ефективності: прискорення, ефективність, масштабованість.

Тема 1.2

Архітектури паралельних обчислювальних машин.

Класифікація Флінна (SISD, SIMD, MISD, MIMD).

Багатопроцесорні та багатоядерні системи. Системи зі спільною та розподіленою пам'яттю. Кластерні системи.

Мережі з'єднань процесорів. Сучасні багатоядерні процесори та GPU.

Тема 1.3

Паралельні моделі програмування та алгоритми. Моделі паралельного програмування: спільна пам'ять, передача повідомлень, паралелізм даних. Граф потоку даних. Паралельні форми алгоритмів. Аналіз залежностей. Стратегії декомпозиції задач: функціональна та по даних.

Тема 1.4

Синхронізація та проблеми паралельного програмування.

Поняття критичної секції. Засоби синхронізації: семафори, м'ютекси, монітори, бар'єри. Проблема тупиків (deadlock): умови виникнення, виявлення та запобігання. Гонки даних та їх усунення. Атомарні операції.

Модуль 2. Технології паралельного програмування

ЗМІСТОВНИЙ МОДУЛЬ 2

Тема 2.1

Технологія OpenMP. Архітектура та принципи роботи OpenMP. Директиви компілятора: parallel, for, sections, single. Клаузи спільного та приватного доступу до даних. Синхронізаційні конструкції: barrier, critical, atomic. Вкладений паралелізм. Вимірювання продуктивності OpenMP-програм.

Тема 2.2

Технологія MPI (Message Passing Interface). Модель передачі повідомлень. Комунікатори та групи процесів. Точкові операції: MPI_Send, MPI_Recv, неблокуючі виклики. Колективні операції: broadcast, scatter, gather, reduce, alltoall. Топології MPI. Розробка та налагодження MPI-програм.

Тема 2.3

Паралельні обчислення на GPU (CUDA). Архітектура GPU та модель програмування CUDA. Ієрархія потоків: grid, block, thread. Управління пам'яттю GPU: глобальна, спільна, константна пам'ять. Оптимізація CUDA-програм. Порівняння CPU та GPU для різних класів задач. Бібліотеки CUDA.

Модуль 3. Розподілені системи та технології

ЗМІСТОВНИЙ МОДУЛЬ 3

Тема 3.1

Основи розподілених систем. Поняття та властивості розподілених систем: прозорість, відмовостійкість, масштабованість, узгодженість. Архітектурні моделі: клієнт-сервер, peer-to-peer, багаторівневі. Теорема CAP. Проблеми розподілених систем: часткові відмови, часові затримки, мережеві розподіли.

Тема 3.2

Мікросервісна архітектура та контейнеризація. Принципи мікросервісної архітектури. Порівняння монолітних і мікросервісних систем. Технологія Docker: контейнери, образи, Dockerfile. Оркестрація контейнерів з Kubernetes. REST API та gRPC для міжсервісної комунікації. Брокери повідомлень: Apache Kafka, RabbitMQ.

Тема 3.3

Хмарні та ґрид-обчислення. Хмарні обчислення: моделі розгортання (IaaS, PaaS, SaaS) та обслуговування. Провідні хмарні платформи: AWS, Azure, Google Cloud. Ґрид-обчислення: принципи, проміжне ПЗ (Globus Toolkit). Віртуалізація ресурсів. Безпека в хмарних та розподілених системах.

Модуль 4. Розподілені бази даних, аналіз великих даних та прикладні системи

ЗМІСТОВНИЙ МОДУЛЬ 4

Тема 4.1

Розподілені бази даних і системи зберігання. Розподілені реляційні СУБД. NoSQL бази даних: документо-орієнтовані, ключ-значення, колонкові, графові. Реплікація та шардінг даних. Забезпечення узгодженості: ACID та BASE підходи. Розподілені транзакції та протокол двофазного підтвердження.

Тема 4.2

Аналіз великих даних (Big Data). Характеристики Big Data: обсяг, швидкість, різноманітність. Парадигма MapReduce. Екосистема Apache Hadoop: HDFS, YARN, MapReduce. Apache Spark: RDD, DataFrame, потокова обробка. Застосування паралельних обчислень в аналізі даних та машинному навчанні.

Тема 4.3

Відмовостійкість і моніторинг розподілених систем. Стратегії забезпечення відмовостійкості: реплікація, резервування, failover. Алгоритми консенсусу: Paxos, Raft. Балансування навантаження: алгоритми та інструменти. Моніторинг і трасування: Prometheus, Grafana, Jaeger. Управління конфігурацією.

Тема 4.4

Прикладні паралельні та розподілені системи. Застосування в наукових обчисленнях, комп'ютерному зорі, обробці природної мови. Паралельні обчислення в кібербезпеці. Тенденції розвитку: квантові обчислення, edge computing, serverless-архітектури. Перспективи розвитку галузі.

Розподіл навчального часу — 120 годин

Модуль	Тема	Лекції (год.)	Лабораторні (год.)	Самостійна робота (год.)
Модуль 1	Тема 1.1 — Вступ до паралельних обчислень	4	2	6
	Тема 1.2 — Архітектури паралельних систем	4	2	6
	Тема 1.3 — Моделі та алгоритми паралельного програмування	4	—	4
	Тема 1.4 — Синхронізація та проблеми паралельного програмування	4	—	4
Модуль 2	Тема 2.1 — Технологія OpenMP	4	4	6
	Тема 2.2 — Технологія MPI	4	4	8
	Тема 2.3 — Паралельні обчислення на GPU (CUDA)	4	—	6
Модуль 3	Тема 3.1 — Основи розподілених систем	4	—	6
	Тема 3.2 — Мікросервісна архітектура та контейнеризація	4	2	6
	Тема 3.3 — Хмарні та ґрід-обчислення	4	—	4
Модуль 4	Тема 4.1 — Розподілені бази даних і системи зберігання	3	—	4
	Тема 4.2 — Аналіз великих даних (Big Data)	3	1	4
	Тема 4.3 — Відмовостійкість і моніторинг	3	—	4
	Тема 4.4 — Прикладні паралельні та розподілені системи	0	—	2
Разом		45	15	60



Структура навчального часу

Загальний обсяг — **120 годин (4 кредити ЄКТС)** — розподілено між трьома формами роботи для забезпечення балансу між теорією та практикою.

- **Лекції (45 год. — 37,5%):** подача ключового теоретичного матеріалу з паралельного та розподіленого програмування
- **Лабораторні (15 год. — 12,5%):** практичне опанування OpenMP, MPI, Docker, Kafka
- **Самостійна робота (60 год. — 50%):** поглиблене вивчення, виконання індивідуальних завдань

📖 Самостійна робота становить **50% обсягу дисципліни** — студенти навчаються самостійно опановувати нові технології паралельних і розподілених обчислень.

Самостійна робота студентів та методи викладання

Форми самостійної роботи

Опрацювання літератури

Поглиблене вивчення теоретичного матеріалу за навчальними посібниками з паралельних та розподілених обчислень, технічною документацією OpenMP, MPI, CUDA, науковими статтями у фахових виданнях. Конспектування ключових положень, порівняння підходів різних авторів.

Індивідуальні завдання

Виконання індивідуальних практичних завдань з розпаралелювання алгоритмів, підготовка аналітичних записок щодо порівняльного аналізу технологій паралельного програмування, міні-досліджень з оцінки продуктивності паралельних програм.

Робота з інформаційними ресурсами

Опрацювання офіційної документації: OpenMP API (openmp.org), MPI Forum (mpi-forum.org), репозиторіїв КПІ ім. Ігоря Сікорського (ela.kpi.ua). Аналіз технічних специфікацій та наукових публікацій.

Підготовка до занять

Підготовка до лабораторних занять шляхом опрацювання методичних рекомендацій, повторення теоретичного матеріалу; підготовка до тестувань через вивчення ключових термінів і концепцій; систематизація знань перед контрольними роботами та захистом лабораторних робіт.

Методи викладання

→ Лекції

Системне подання теоретичного матеріалу з використанням наочних схем, діаграм архітектур та прикладів коду; студенти ведуть конспекти та задають уточнювальні запитання.

→ Лабораторні роботи

Практичне програмування паралельних і розподілених застосунків; студенти виконують завдання, налагоджують програми та захищають результати з поясненням прийнятих рішень.

→ Кейс-стаді

Аналіз реальних архітектурних рішень розподілених систем (Hadoop, Kubernetes, Kafka); студенти виявляють проблему, пропонують рішення та обґрунтовують вибір технологій.

→ Профілювання та оптимізація

Практичний аналіз продуктивності паралельних програм із застосуванням профайлерів; формування навичок виявлення вузьких місць та підвищення ефективності обчислень.

→ Самостійне дослідження

Підготовка аналітичних записок та індивідуальних проєктів з обраної технології паралельного або розподіленого програмування; розвиток навичок самостійного пошуку та систематизації інформації.

Форми контролю знань

1

Поточний контроль

Завдання: аналітичні та тестові вправи за темами змістовного модуля.

Оцінюються регулярність виконання завдань, якість відповідей і рівень засвоєння матеріалу. Поточний контроль формує накопичувальну оцінку протягом семестру. Включає усні опитування, письмові відповіді, захист лабораторних робіт та участь в обговоренні технічних рішень.

2

Проміжний контроль

Контрольна робота або індивідуальне проєктне завдання, яке охоплює теми змістовних модулів (теоретичні питання, розробка паралельних програм, аналіз архітектурних рішень розподілених систем). Оцінюються повнота відповіді, коректність реалізації та обґрунтованість вибору технологій. Проводиться після кожного змістовного модуля.

3

Підсумковий контроль

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

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

Рекомендована література та ресурси

Навчальна та наукова література (2022–2024)

1. Черних О. П., Челак В. В. Паралельні та розподілені обчислення: навч.-метод. посіб. — Харків : НТУ «ХПІ», 2022. — 82 с.
2. Козуб Г. О., Козуб В. Ю. Паралельні та розподілені обчислення: методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт. — Старобільськ : ДЗ «ЛНУ імені Тараса Шевченка», 2022. — 125 с.
3. Лупан І. В., Паращук С. Д. Паралельні та розподілені обчислення: лабораторні роботи. Ч. 1: Технологія OpenMP. — Кропивницький : ФОП Піскова М. А., 2024. — 58 с.
4. Пасічник В. В. Паралельні та розподілені обчислення: навч. посіб. — Київ : Видавництво, 2022. — 320 с.
5. Юрчишин В. Я. Хмарні та ґрид-технології: конспект лекцій. — Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023.
6. Шликов В. В., Данілова В. А. Високопродуктивні розподілені обчислювальні системи: практикум: навч. посіб. — Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. — 108 с.
7. Минайленко Р. М. Паралельні та розподілені обчислення: навч. посіб. — Кропивницький : ЦНТУ, 2022. — 280 с.
8. Семеренко В. П. Технології паралельних обчислень: навч. посіб. для здоб. ступеня бакалавра спец. 123 «Комп'ютерна інженерія». — Вінниця : ВНТУ, 2023. — 180 с.
9. Гетерогенні розподілені бази даних: навч. посіб. — Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського (ФІОТ), 2024. — (Гриф Методичної ради КПІ, протокол №3 від 07.12.2023 р.)
10. Кулаков О. Ю. та ін. Технології розподілених систем та паралельних обчислень: навч. програма. — Київ : НУБіП України, 2023.

Офіційні інтернет-ресурси та документація

1. Репозитарій КПІ ім. Ігоря Сікорського (навч. матеріали). — URL: <https://ela.kpi.ua/>
2. OpenMP API Specification (офіційна документація). — URL: <https://www.openmp.org/>
3. MPI Forum — стандарт MPI. — URL: <https://www.mpi-forum.org/>
4. NVIDIA CUDA Documentation. — URL: <https://docs.nvidia.com/cuda/>
5. Apache Hadoop офіційна документація. — URL: <https://hadoop.apache.org/>
6. Apache Spark офіційна документація. — URL: <https://spark.apache.org/>
7. Репозитарій ЛНУ ім. Тараса Шевченка (dspace). — URL: <https://dspace.luguniv.edu.ua/>
8. Національна бібліотека України ім. В. І. Вернадського. — URL: <https://nbuv.gov.ua/>



Рекомендована література охоплює видання **2022–2024 років** українських авторів відповідно до вимог актуальності навчально-методичного забезпечення.