



# Технології паралельних обчислень в енергетичних комплексах

## Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

### Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	Перший (бакалаврський)
Галузь знань	12 Інформаційні технології
Спеціальність	122 Комп'ютерні науки
Освітня програма	Цифрові технології в енергетиці
Статус дисципліни	Нормативна
Форма навчання	Очна (денна)
Рік підготовки, семестр	3 курс, весняний семестр
Обсяг дисципліни	3,5 кредити ЄКТС / 105 год.: лекції – 18 год., лабораторні роботи – 36 год., самостійна робота – 51 год.
Семестровий контроль / контрольні заходи	м.к.р., іспит
Розклад занять	<a href="http://rozklad.kpi.ua">http://rozklad.kpi.ua</a>
Мова викладання	Українська
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: доцент, к.т.н., доц. Лабжинський Володимир Анатолійович, <a href="mailto:labzhynskyi.volodymyr@lll.kpi.ua">email: labzhynskyi.volodymyr@lll.kpi.ua</a> Лабораторні роботи: доцент, к.т.н., доц. Лабжинський Володимир Анатолійович, <a href="mailto:labzhynskyi.volodymyr@lll.kpi.ua">email: labzhynskyi.volodymyr@lll.kpi.ua</a>
Розміщення курсу	Лекції: <a href="https://do.ipu.kpi.ua/course/view.php?id=6708">https://do.ipu.kpi.ua/course/view.php?id=6708</a> (Увійдіть як гість) Лабораторні роботи: <a href="https://do.ipu.kpi.ua/course/view.php?id=6711">https://do.ipu.kpi.ua/course/view.php?id=6711</a> (Увійдіть як гість)

### Програма навчальної дисципліни

#### 1. Опис навчальної дисципліни, її мета, предмет вивчення та результати навчання

Метою вивчення навчальної дисципліни є формування у студентів таких загальних і фахових компетентностей:

- здатності до абстрактного мислення, аналізу та синтезу (ЗК1);
- здатності застосовувати знання у практичних ситуаціях (ЗК2);
- знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності (ЗК3);
- здатності генерувати нові ідеї (креативність) (ЗК8);
- здатності реалізувати багаторівневу обчислювальну модель на основі архітектури клієнт-сервер, включаючи бази даних, знань і сховища даних, виконувати розподілену обробку великих наборів даних на кластерах стандартних серверів для забезпечення обчислювальних потреб користувачів, у тому числі на хмарних сервісах (ФК9);
- здатність реалізовувати високопродуктивні обчислення на основі хмарних сервісів і технологій, паралельних і розподілених обчислень при розробці й експлуатації розподілених систем паралельної обробки інформації для енергетичної галузі (ФК16).

Згідно з вимогами освітньо-професійної програми студенти після засвоєння навчальної дисципліни мають продемонструвати такі результати навчання:

#### знання:

- методи підвищення ефективності комп'ютерів, класифікація обчислювальних систем, основні методи паралельного програмування;

- показники ефективності паралельних алгоритмів, закони Амдала та Густавсона-Барсіса;
- основні мережні топології та їхній вплив на продуктивність паралельних обчислень;
- засоби синхронізації взаємодіючих процесів (потоків), що виконуються паралельно;
- принципи розроблення програмного забезпечення для паралельних обчислень на основі платформно-незалежних технологій OpenMP та MPI;
- паралельні алгоритми розв'язання поширених математичних задач.

#### **вміння:**

- застосовувати знання основних форм і законів абстрактно-логічного мислення, основ методології наукового пізнання, форм і методів вилучення, аналізу, обробки та синтезу інформації в предметній галузі комп'ютерних наук (ПР1);
- використовувати інструментальні засоби розроблення клієнт-серверних застосувань, проектувати концептуальні, логічні та фізичні моделі баз даних, розробляти та оптимізувати запити до них, створювати розподілені бази даних, сховища та вітрини даних, бази знань, у тому числі на хмарних сервісах, із застосуванням мов веб-програмування (ПР10);
- виконувати паралельні та розподілені обчислення, застосовувати чисельні методи та алгоритми для паралельних структур, мови паралельного програмування при розробці та експлуатації паралельного та розподіленого програмного забезпечення (ПР17);
- застосовувати основні системні виклики (функції) ОС UNIX, які використовують при роботі з файлами (каталогами) та процесами (потокими);
- використовувати канали та засоби міжпроцесної взаємодії ОС UNIX для обміну інформацією між процесами;
- грамотно застосовувати засоби синхронізації дій процесів (потоків), уникати виникнення тупикових ситуацій;
- розробляти програмне забезпечення для паралельних обчислень з використанням платформно-незалежних технологій OpenMP та MPI.

## **2. Пререквізити та постреквізити дисципліни**

Вивчення дисципліни спирається на знання, отримані за програмою попередніх років навчання за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки».

В структурно-логічній схемі навчання дисципліна «Технології паралельних обчислень в енергетичних комплексах» розташована в 6 семестрі, тобто тоді, коли студенти вже прослухали курси "Алгоритмізація та програмування", "Комп'ютерна схемотехніка та архітектура", "Операційні системи на основі Linux", засвоїли принципи побудови алгоритмів, ознайомилися з архітектурою сучасних комп'ютерів та набули певного досвіду розробки програмного забезпечення. З іншого боку, матеріал цього кредитного модуля може бути використаний при вивченні таких курсів, як "Системи баз даних", що подаються в наступних семестрах.

## **3. Зміст навчальної дисципліни**

В дисципліні вивчаються такі теми:

### **Розділ 1. Загальні питання паралельних обчислень**

Тема 1.1. Побудова паралельних обчислювальних систем. Принципи розроблення паралельних програм

### **Розділ 2. Платформно-незалежні програмні засоби для реалізації паралельних обчислень**

Тема 2.1. Спеціалізовані програмні технології для розроблення паралельних програм

### **Розділ 3. Приклади розроблення паралельних алгоритмів**

Тема 3.1. Паралельні алгоритми розв'язання типових задач обчислювальної математики

## **4. Навчальні матеріали та ресурси**

### **Базова література**

1. Robey, R., and Y. Zamora. 2021. *Parallel and High Performance Computing*. Shelter Island, NY: Manning Publications.
2. Quinn, M. J. 2004. *Parallel Programming in C with MPI and OpenMP*. New York, NY: McGraw-Hill.
3. Grama A., A. Gupta, G. Karypis, and V. Kumar. 2003. *Introduction to Parallel Computing*. 2nd ed. Reading, MA: Addison-Wesley Professional.

4. Andrews, G. R. 2000. *Foundations of Multithreaded, Parallel, and Distributed Programming*. Reading, MA: Addison-Wesley.
5. Foster, I. 1995. *Designing and Building Parallel Programs: Concepts and Tools for Software Engineering*. Reading, MA: Addison-Wesley.

#### Додаткова література

1. Cormen, T. H., C. E. Leiserson, R. L. Rivest, and C. Stein. 2022. *Introduction to Algorithms*. 4th ed. Cambridge, MA: The MIT Press.
2. Tanenbaum A. S., and H. Bos. 2023. *Modern Operating Systems*. 5th ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall PTR.
3. Bertsekas, D. P., and Tsitsiklis J. N. 1989. *Parallel and Distributed Computation: Numerical Methods*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
4. Hughes, C., and T. Hughes. 2003. *Parallel and Distributed Programming Using C++*. Boston, MA: Addison-Wesley Professional.
5. Stevens, W. R., and S. A. Rago. 2013. *Advanced Programming in the UNIX Environment*. 3rd ed. Reading, MA: Addison-Wesley Professional.

### Навчальний контент

#### 5. Методика опанування навчальної дисципліни

##### Лекційні заняття

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань	Кільк. ауд.год.
Розділ 1. Загальні питання паралельних обчислень		
Тема 1.1. Побудова паралельних обчислювальних систем. Принципи розроблення паралельних програм		
1	<b>Принципи побудови паралельних обчислювальних систем.</b> Паралелізм як основа високопродуктивних обчислень. Методи підвищення продуктивності комп'ютерів. Ієрархія рівнів пам'яті. Класифікація обчислювальних систем. Мультипроцесори та мультикомп'ютери. Основні методи паралельного програмування.	2
2	<b>Моделі паралельних обчислень і методи аналізу їхньої ефективності.</b> Модель обчислень у вигляді графа "операції-операнди". Побудова схеми та визначення часу виконання паралельного алгоритму. Показники ефективності паралельного алгоритму (прискорення та ефективність). Оцінювання максимально досяжного паралелізму (закони Амдала та Густавсона-Барсіса). Аналіз масштабованості паралельних обчислень (функція ізоефективності).	2
3	<b>Комунікаційні витрати паралельних алгоритмів.</b> Приклади топологій мережі передачі даних та їхні основні характеристики. Алгоритми маршрутизації. Методи передачі даних. Аналіз комунікаційних витрат основних операцій передачі даних. Методи логічного представлення топології комунікаційного середовища.	2
4	<b>Принципи проектування паралельних алгоритмів.</b> Основні етапи проектування паралельних алгоритмів. Моделювання паралельних програм. Приклад розроблення паралельного алгоритму (задача $N$ тіл).	2
Розділ 2. Платформно-незалежні програмні засоби для реалізації паралельних обчислень		
Тема 2.1. Спеціалізовані програмні технології для розроблення паралельних програм		
5	<b>Технологія розроблення паралельних програм для мультипроцесорів (стандарт OpenMP).</b> Загальна характеристика стандарту OpenMP. Базові поняття OpenMP: паралельні секції, шаблон SPMD, паралельні цикли, редуція, локальні та поділювані змінні. Статичний та динамічний розподіл навантаження між потоками. Синхронізація обчислень. Бібліотека функцій.	2

6	<b>Технологія розроблення паралельних програм для мультикомп'ютерів (стандарт MPI).</b> Загальна характеристика стандарту MPI. Базові поняття MPI: процес, ранг, комунікатор, типи даних, режими передачі даних. Синхронізація обчислень. Попарні та колективні операції передачі даних в MPI.	2
Розділ 3. Приклади розроблення паралельних алгоритмів		
Тема 3.1. Паралельні алгоритми розв'язання типових задач обчислювальної математики		
7	<b>Множення векторів і матриць, розв'язання систем лінійних рівнянь.</b> Множення матриці на вектор у разі стрічкового та блокового поділу даних. Алгоритми Фокса і Кеннона. Паралельний алгоритм Гауса.	2
8	<b>Сортування даних.</b> Пузирковий та швидкий алгоритми, алгоритми Шелла та Бетчера.	2
9	<b>Оброблення графів.</b> Задача пошуку мінімального кістякового дерева (алгоритми Прима та Крускала). Задача пошуку всіх найкоротших шляхів (алгоритми Беллмана-Форда, Дейкстри та Флойда-Уоршелла).	2

### Лабораторні роботи

№ з/п	Тема лабораторної роботи	Кільк. ауд.год.
Розділ 1. Загальні питання паралельних обчислень		
Тема 1.1. Побудова паралельних обчислювальних систем. Принципи розроблення паралельних програм		
1	Оброблення сигналів в багатопотокових застосунках	4
Розділ 2. Платформно-незалежні програмні засоби для реалізації паралельних обчислень		
Тема 2.1. Спеціалізовані програмні технології для розроблення паралельних програм		
2	Паралельні обчислення для мультипроцесорів на основі технології OpenMP	6
3	Паралельні обчислення для мультикомп'ютерів на основі технології MPI	6
Розділ 3. Приклади розроблення паралельних алгоритмів		
Тема 3.1. Паралельні алгоритми розв'язання типових задач обчислювальної математики		
4	Розв'язання систем лінійних алгебричних рівнянь	6
5	Алгоритми сортування	6
6	Графові алгоритми	6

### Контрольні роботи

В шостому семестрі проводять одну модульну контрольну роботу. Для її проведення виділяють 2 навчальні години рахунок часу, передбаченого для виконання лабораторних робіт.

Метою модульної контрольної роботи є визначення рівня теоретичних знань та практичних вмінь і навичок студентів з використання засобів та платформно-незалежних технологій паралельних обчислень для розв'язування прикладних задач.

Контрольна робота охоплює всі основні розділи курсу, а саме:

- основні поняття паралелізму. Закони Амдала та Густавсона-Барсіса;
- керування потоками, надсилання й оброблення сигналів;
- платформно-незалежні технології OpenMP та MPI;
- паралельні алгоритми розв'язання типових математичних задач.

### 6. Самостійна робота

Самостійна робота студента (51 година) передбачає підготовку до аудиторних занять та контрольних заходів, засвоєння базової та ознайомлення з додатковою літературою.

Розподіл годин СРС: підготовка до лекції – 1 година; підготовка до лабораторної роботи – 2 години; підготовка до МКР – 3 години; підготовка до іспиту – 27 годин.

**7. Політика навчальної дисципліни**

- відвідування лекцій, а також відсутність на них, не оцінюється. Відвідування лабораторних і практичних занять є обов'язковою складовою вивчення матеріалу;
- під час захисту лабораторних робіт студент має продемонструвати розроблений програмний код та результати його виконання на тестах, як заздалегідь підготованих, так і запропонованих викладачем. У випадку дистанційної форми навчання захист відбувається на відповідній конференції шляхом демонстрації екрана;
- політика та принципи академічної доброчесності визначені у розділі 3 Кодексу честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Детальніше: <https://kpi.ua/code>;
- норми етичної поведінки студентів і працівників визначені у розділі 2 Кодексу честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Детальніше: <https://kpi.ua/code>.

**8. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (PCO)**

1. Стартовий рейтинг (виконання робіт протягом семестру) оцінюється у 50 балів. Розподіл балів наведений у таблиці.

Вид роботи	Максимальна кількість балів за виконання
Лабораторна робота № 1	3
Лабораторна робота № 2	4
Лабораторна робота № 3	5
Лабораторна робота № 4	6
Лабораторна робота № 5	6
Лабораторна робота № 6	6
Модульна контрольна робота	20
<b>Всього</b>	<b>50</b>

**Лабораторні роботи:**

- кількість лабораторних робіт згідно з робочою програмою – 6;
- максимальна кількість балів за виконання лабораторних робіт – 30.

*Критерії оцінювання виконання та захисту лабораторних робіт:*

- якщо студент виконав роботу, але не відповів на контрольні запитання до неї, то за роботу нараховується 50% від максимальної кількості балів;
- якщо робота виконана невчасно, то знімається 10–30% від максимальної кількості балів (кількість процентів залежить від терміну запізнення);
- якщо студент виконав роботу не самостійно та не розбирається в коді програми, то бали за роботу не нараховуються;
- якщо в програмі не витримані основні правила створення програмних продуктів (модульність, дружній інтерфейс, наявність коментарів тощо) знімається по 5% від максимальної кількості балів за кожний з цих недоліків.

**Модульна контрольна робота (МКР):**

- тема МКР “Засоби, технології та алгоритми паралельних обчислень”;

- МКР містить два теоретичні та два практичні завдання;
- максимальна кількість балів за написання МКР – 20, в тому числі за теоретичне завдання – 6 балів, за практичне завдання – 4 бали;
- термін проведення МКР – 17-й тиждень семестру.

*Критерії оцінювання написання МКР:*

- якщо на питання подані повні та чітко аргументовані відповіді, контрольна робота виконана охайно, з дотриманням основних правил оформлення, то виставляється 90-100% від максимальної кількості балів;
- якщо методика виконання запропонованого завдання вірна, але допущені неprincipові помилки у теоретичному описі або чисельних розрахунках, то виставляється 75-90% від максимальної кількості балів;
- від 50% до 75% від максимальної кількості балів нараховується, якщо методика виконання завдання в основному вірна, але допущені деякі з наступних помилок: помилки у поданні вихідних даних, не обґрунтовані теоретичні рішення, є принципові помилки у чисельних розрахунках;
- менше 50% від максимальної кількості балів нараховується, якщо завдання не виконане або студент припустився грубих помилок при його виконанні.

2. Календарний контроль проводиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог робочої програми.

Критерій	Перший календарний контроль	Другий календарний контроль
Термін календарного контролю	Тиждень 7-8	Тиждень 14-15
Умови отримання позитивної оцінки	≥ 7 балів	≥ 14 балів

3. Умови допуску до екзамену: відсутність заборгованостей з лабораторних робіт 1–6 та МКР, а також стартовий рейтинг не менше 30 балів.

4. Екзаменаційний рейтинг (відповідь на екзамені) оцінюється в 50 балів. Екзаменаційний білет містить два теоретичні питання та два практичні завдання. Ваговий бал кожного теоретичного питання складає 15 балів, а кожного практичного завдання – 10 балів.

*Критерії оцінювання складання екзамену:*

Відповідь на теоретичне питання оцінюється таким чином:

- правильна чітко викладена, повна відповідь (не менше 90% потрібної інформації) – 14-15 балів;
- достатньо повна відповідь (не менше 75% потрібної інформації) – 11-13 балів;
- неповна відповідь (не менше 60% потрібної інформації) – 9-10 балів;
- незадовільна відповідь – 0 балів.

Виконання практичного завдання оцінюється таким чином:

- повне, безпомилкове виконання завдання – 9-10 балів;
- повне виконання завдання із несуттєвими невідповідностями – 7-8 балів;
- завдання, виконане з суттєвими недоліками – 5-6 балів;
- завдання не виконано – 0 балів.

5. Рейтингова оцінка за освітній компонент розраховується як сума балів стартового та екзаменаційного рейтингів (максимум 50 + 50 = 100 балів) і визначається згідно з таблицею переведення рейтингових балів у оцінку за університетською шкалою:

<b>Кількість балів</b>	<b>Оцінка</b>
100-95	Відмінно
94-85	Дуже добре
84-75	Добре
74-65	Задовільно
64-60	Достатньо
Менше 60	Незадовільно
Не виконані умови допуску	Не допущено

## **9. Додаткова інформація з дисципліни**

Для кращого засвоєння матеріалу рекомендується проводити лабораторні роботи на комп'ютерах, що підключені до мережі Інтернет, з метою надання студентам доступу до найсвіжіших інформаційних ресурсів.

### **Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):**

**Складено** доцентом, к.т.н., доц. Лабжинським Володимиром Анатолійовичем

**Ухвалено** кафедрою ЦТЕ (протокол № 21 від 30.05.2024)

**Погоджено** Методичною комісією НН ІАТЕ КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол № 9 від 31.05.2024)