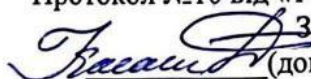


Національний університет біоресурсів і природокористування України  
Кафедра комп'ютерних систем, мереж та кібербезпеки

“ЗАТВЕРДЖУЮ”  
Декан факультету інформаційних технологій  
проф. О.Г.Глазунова  
\_\_\_\_\_ 2023 р.



СХВАЛЕНО  
на засіданні кафедри  
комп'ютерних систем,  
мереж та кібербезпеки  
Протокол №10 від «17» травня» 2023р.  
Завідувач кафедри  
(доц. Касаткін Д.Ю.)



РОЗГЛЯНУТО  
Гарант ОП «Комп'ютерна інженерія»

 (Нікітенко Є.В.)

**РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**  
**“Паралельні та розподілені обчислення”**

Спеціальність	<u>123 «Комп'ютерна інженерія»</u>
Освітня програма	<u>«Комп'ютерна інженерія»</u>
Факультет	<u>інформаційних технологій</u>
Розробник:	<u>Смолій В.В., к.т.н., доцент</u>

**Опис навчальної дисципліни**  
**Паралельні та розподілені обчислення**  
(назва)

<b>Галузь знань, напрям підготовки, спеціальність, освітньо-кваліфікаційний рівень</b>		
Галузь знань	Інформаційні технології	
Спеціальність	123 – «Комп'ютерна інженерія»	
другий (магістерський) рівень	Бакалавр	
<b>Характеристика навчальної дисципліни</b>		
Вид	Обов'язкова	
Загальна кількість годин	120	
Кількість кредитів ECTS	4	
Кількість змістових модулів	3	
Курсовий проект (робота) (якщо є в робочому навчальному плані)	-	
Форма контролю	Іспит	
<b>Показники навчальної дисципліни для денної та заочної форм навчання</b>		
	денна форма навчання	заочна форма навчання
Рік підготовки	2023-2024	
Семестр	6	
Лекційні заняття	30 год.	
Практичні, семінарські заняття		
Лабораторні заняття	30 год.	
Самостійна робота	60 год.	
Індивідуальні завдання		
Кількість тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних	4 год.	

### 1. Мета та завдання навчальної дисципліни

**Мета** - забезпечення сприяння формуванню знань щодо проектування та використання технічних засобів систем високопродуктивної обробки даних на основі принципів паралелізму, підготовки студентів в галузі застосування апаратних засобів та розробки програмного забезпечення систем паралельної обробки даних.

Вивчаються: тенденції розвитку науки та техніки в галузі створення паралельних систем обробки даних; призначення, класифікацію та структуру цих засобів; способи їх організації, методи проектування алгоритмів з паралельної обробки даних, оцінювати їх складність, вибирати та застосовувати інструментальні засоби та мови з паралельної обробки даних, працювати з технічною літературою, довідниками, стандартами, технічною документацією.

Основними завданнями вивчення дисципліни є теоретична і практична підготовка студентів щодо формування здатності створювати та аналізувати програмні компоненти комп'ютерних систем з використанням засобів підтримки паралельних комп'ютерних обчислювальних операцій

**Місце і роль дисципліни** в системі підготовки фахівців відповідно до навчального плану. Дана навчальна дисципліна є теоретичною основою сукупності знань та вмінь, що формують профіль фахівця в області захисту інформації управляючих систем в різних

галузях, а також сприяє здачі єдиного державного кваліфікаційного іспиту зі спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія» для першого (бакалаврського) рівня вищої освіти.

### **Вимоги щодо знань і вмінь, набутих внаслідок вивчення дисципліни**

Внаслідок вивчення дисципліни студенти повинні:

#### **знати**

- Методи паралельних обчислень для інженерно-технічних задач
- Основні напрями забезпечення паралелізму в комп'ютерних системах
- Методику розробки паралельних програм

#### **вміти**

- Створювати модель виконання паралельних програм
- Оцінювати ефективність паралельних обчислень
- Аналізувати складність обчислень і можливість розпаралелення алгоритмів
- Застосовувати принципи розробки паралельних програм
- Оцінювати основні параметри паралельних програм.

### **Набуття компетентностей:**

Відповідно до освітньої програми підготовки фахівців за спеціальністю 123 «Комп'ютерна інженерія» навчальна дисципліна забезпечує формування загальних і фахових компетентностей:

#### **Загальні компетентності:**

ЗК3. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.

ЗК5. Здатність спілкуватися іноземною мовою.

ЗК6. Навички міжособистісної взаємодії.

ЗК9. Здатність реалізувати свої права і обов'язки як члена суспільства, усвідомлювати цінності громадянського (вільного демократичного) суспільства та необхідність його сталого розвитку, верховенства права, прав і свобод людини і громадянина в Україні.

#### **Спеціальні фахові компетентності:**

СК5. Здатність використовувати засоби і системи автоматизації проектування до розроблення компонентів комп'ютерних систем та мереж, Інтернет додатків, кіберфізичних систем тощо.

СК6. Здатність проектувати, впроваджувати та обслуговувати комп'ютерні системи та мережі різного виду та призначення.

СК7. Здатність використовувати та впроваджувати нові технології, включаючи технології розумних, мобільних, зелених і безпечних обчислень, брати участь в модернізації та реконструкції комп'ютерних систем та мереж, різноманітних вбудованих і розподілених додатків, зокрема з метою підвищення їх ефективності.

СК14. Здатність проектувати системи та їхні компоненти з урахуванням усіх аспектів їх життєвого циклу та поставленої задачі, включаючи створення, налаштування, експлуатацію, технічне обслуговування та утилізацію.

**У результаті вивчення навчальної дисципліни студент набуде певні програмні результати, а саме**

ПРН1. Знати і розуміти наукові положення, що лежать в основі функціонування комп'ютерних засобів, систем та мереж.

ПРН2. Знати основи професійно-орієнтованих дисциплін спеціальності.

ПРН4. Мати знання з новітніх технологій в галузі комп'ютерної інженерії.

ПРН6. Вміти застосовувати знання для ідентифікації, формулювання і розв'язування технічних задач спеціальності, використовуючи відомі методи.

ПРН7. Вміти застосовувати знання для розв'язування задач аналізу та синтезу засобів, характерних для спеціальності.

ПРН9. Вміти застосовувати знання технічних характеристик, конструктивних

особливостей, призначення і правил експлуатації програмно-технічних засобів комп'ютерних систем та мереж для вирішення технічних задач спеціальності.

ПРН10. Вміти розробляти системне і прикладне програмне забезпечення для вбудованих і розподілених застосувань, мобільних систем, розраховувати, експлуатувати, типове для спеціальності обладнання.

ПРН11. Вміти здійснювати пошук інформації в різних джерелах для розв'язання задач комп'ютерної інженерії.

ПРН16. Вміти оцінювати отримані результати та аргументовано захищати прийняті рішення.

Навчальна програма розрахована на здобувачів вищої освіти, які навчаються за освітньою програмою підготовки бакалаврів за спеціальністю 123 «Комп'ютерна інженерія».

Робоча програма побудована за вимогами кредитно-модульної системи організації навчального процесу у закладах вищої освіти і використанням академічної системи оцінювання досягнень студентів та шкали оцінок Європейської кредитно-трансферної системи (ECTS).

Навчальна програма розроблена на підставі наступних документів:

-освітньо-професійна програма підготовки фахівців за спеціальністю «Комп'ютерна інженерія»;

-навчальний план підготовки бакалаврів за спеціальністю «Комп'ютерна інженерія».

Навчальна програма характеризує шляхи перетворення інформації, що одержується студентом впродовж вивчення курсу, і відбиває зміст курсу, розподілення його на розділи та їх обсяги, дані про форми вивчення та контролю знань.

Теоретичною базою для вивчення є курси «Комп'ютерні системи» та «Архітектура комп'ютерів».

## **2. Програма навчальної дисципліни**

### **Змістовий модуль №1. Паралелізм в системах із загальною пам'яттю.**

#### **Тема 1. Визначення паралелізму та розподіленості обчислень.**

Поняття паралелізму та розподіленості перетворення даних в комп'ютерних системах. Основні структурні рішення для підвищення продуктивності комп'ютерних (обчислювальних) систем. Класифікація обчислювальних систем за Флінном. Деталізація MIMD за архітектурою пам'яті.

#### **Тема 2. Програмування із OpenMP.**

Напрямок застосування OpenMP. Основні поняття паралельної програми: фрагмент, область, секція. Формат директиви parallel. Керування умовою розпаралелення, співвідношенням даних, кількістю потоків, вкладеністю паралельних фрагментів. Розрахунок часу виконання паралельної програми.

#### **Тема 3. Розпаралелення по задачам із застосуванням OpenMP.**

Розподілення обчислювального навантаження між потоками. Визначення однопотоківих ділянок в паралельних фрагментах директивами single і master. Визначення паралельних програмних секцій. Формат і параметри директиви sections. Бар'єрна синхронізація (директива barrier). Взаємне виключення при використанні загальних змінних (директива critical). Характеристика критичної секції. Взаємне виключення при використанні загальних змінних (директива atomic).

#### **Тема 4. Керування розподілом ітерацій із застосуванням OpenMP.**

Розподілення обчислювального навантаження у програмному циклі. Формат і параметри директиви `for`. Приклади програм з директивою `for`. Стратегії керування розподілом ітерацій. Розподіл ітерацій директивою `ordered`.

#### **Тема 5. Узгодження паралельних обчислень.**

Модель пам'яті із загальним доступом до даних. Поняття процесу, ресурсу, потоку. Загальні дані, критична секція. Алгоритми взаємовиключення. Семафори для взаємовиключення. Алгоритми бар'єрної синхронізації. Синхронізація в OpenMP. Приклад замку в OpenMP.

### **Змістовий модуль № 2. Паралелізм в системах із розподіленою пам'яттю.**

#### **Тема 6. Програмування із MPI.**

Головні визначення: групи, атрибути процесів, комунікатори, структура повідомлень, комунікаційні операції, віртуальні топології процесів. Комунікаційні операції. Загальна структура MPI-програми. Загальні процедури. Інсталяція і запуск програм з MPI.

#### **Тема 7. Колективні взаємодії в MPI.**

Особливості колективних операцій. Типи і варіанти подання колективних операцій. Головні функції.

#### **Тема 8. Похідні типи даних в MPI.**

Визначення і використання похідних типів. Протяжність і розмір типів даних. Функції для роботи з похідними типами даних. Формування нового типу даних. Упаковка та розпаковка даних. Розсилка різнотипних даних.

#### **Тема 9. Моделі комп'ютерних систем з паралельними та розподіленими обчисленнями.**

Моделі PRAM, LMM, MMM та їх властивості. Комунікаційні примітиви для операцій пересилання даних в паралельних комп'ютерних системах та топологічні властивості. Показники продуктивності. Статичні і динамічні топології паралельних комп'ютерних систем.

#### **Тема 10. Переналаштування в MPI.**

Створення груп і комунікаторів. Формування і зміна топології обчислень. Зіставлення процесів паралелізму в різних топологіях.

### **Змістовий модуль № 3. Гетерогенні обчислення.**

#### **Тема 11. Головні положення з гетерогенних обчислень.**

Властивості сучасних комп'ютерних систем. Обґрунтування до застосування не процесорних засобів до участі в математичних перетвореннях. Методика застосування апаратних та програмних засобів для організації гетерогенних обчислень. Апаратне забезпечення GPU. Шаблони паралельної комунікації. Головні алгоритми.

#### **Тема 12. Програмування із CUDA.**

Модель програмування в CUDA. Розширення мови C. Основи CUDA host API. Налаштування CUDA. Реалізація атомарних операцій та головних операцій з масивами даних.

#### **Тема 13. Програмування із OpenCL.**

Методика генерації коду OpenCL для пристроїв SIMD-архітектури. Застосування OpenCL для розв'язання задач опрацювання векторів та матриць.

#### **Тема 14. Метрики паралельних обчислень.**

Первинні показники динамічних характеристик паралельних алгоритмів. Продуктивність процесора, обсяг обчислень, ступінь паралелізму, коефіцієнти прискорення, індекс паралелізму, ефективність, утилізація, надлишковість, стиск, якість.

Співвідношення послідовної і паралельної частин в паралельних програмах. Масштабованість. Урахування накладних витрат. Ізоефективність. Закони Амдала, Густавсона, Сана-Ная.

**Тема 15. Методика надання паралелізму комп'ютерним обчисленням.**

Модель обчислень «операції-операнди». Розклад обчислень. Показники часу паралельного і послідовного виконання алгоритму. Властивості оцінки часу паралельного виконання алгоритму. Рекомендації щодо розробки паралельних алгоритмів. Паралельна форма алгоритму. Оцінка ізоефективності модифікованого каскадного алгоритму розрахунку суми набору чисельних значень. Паралельне обчислення значення числа Пі.

### 3. Структура навчальної дисципліни

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин											
	денна форма						Заочна форма					
	усього	у тому числі					усього	у тому числі				
		л	п	лаб	інд	с.р.		о	л	п	лаб	інд
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
<b>Змістовий модуль 1. Паралелізм в системах із загальною пам'яттю.</b>												
<b>Тема 1.</b> Визначення паралелізму та розподіленості обчислень	6	2				4						
<b>Тема 2.</b> Програмування із OpenMP.	8	2		2		4						
<b>Тема 3.</b> Розпаралелення по задачам із застосуванням OpenMP	8	2		2		4						
<b>Тема 4.</b> Керування розподілом ітерацій із застосуванням OpenMP	10	2		4		4						
<b>Тема 5.</b> Узгодження паралельних обчислень	6	2				4						
<b>Разом за змістовим модулем 1</b>	<b>38</b>	<b>10</b>		<b>8</b>		<b>20</b>						
<b>Змістовий модуль 2. Паралелізм в системах із розподіленою пам'яттю.</b>												
<b>Тема 6.</b> Програмування із MPI	10	2		4		4						
<b>Тема 7.</b> Колективні взаємодії в MPI	8	2		2		4						
<b>Тема 8.</b> Похідні типи даних в MPI	10	2		4		4						
<b>Тема 9.</b> Моделі комп'ютерних систем з паралельними та розподіленими обчисленнями	6	2				4						
<b>Тема 10.</b> Переналаштування в MPI	10	2		4		4						
<b>Разом за змістовим модулем 2</b>	<b>44</b>	<b>10</b>		<b>14</b>		<b>20</b>						
<b>Змістовий модуль 3. Гетерогенні обчислення.</b>												
<b>Тема 11.</b> Головні положення з гетерогенних обчислень	6	2				4						
<b>Тема 12.</b> Програмування із CUDA	10	2		4		4						
<b>Тема 13.</b> Програмування із OpenCL	10	2		4		4						
<b>Тема 14.</b> Метрики паралельних обчислень	6	2				4						
<b>Тема 15.</b> Методика надання паралелізму комп'ютерним обчисленням	6	2				4						
<b>Разом за змістовим модулем 3</b>	<b>38</b>	<b>10</b>		<b>8</b>		<b>20</b>						
<b>Усього годин за курс</b>	<b>120</b>	<b>30</b>		<b>30</b>		<b>60</b>						

### 4. Теми семінарських занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
	Не передбачено робочим навчальним планом	

### 5. Теми практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
	Не передбачено робочим навчальним планом	

## 6. Теми лабораторних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1.	Вказання на паралелізм в програмі з використанням OpenMP	2
2.	Розподілення обчислень між паралельними секціями в програмі з OpenMP	2
3.	Розподілення обчислень циклу в програмі з OpenMP	4
4.	Обмін повідомленнями між окремими процесами з використанням MPI	4
5.	Застосування колективних взаємодій у MPI	2
6.	Похідні типи даних в MPI	4
7.	Віртуальні топології в MPI	4
8.	Вказання на паралелізм в програмі з використанням CUDA	4
9.	Вказання на паралелізм в програмі з використанням OpenCL	4
	<b>Разом</b>	<b>30</b>

## 7. Самостійна робота

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Класифікації комп'ютерних систем. Технічні характеристики комп'ютерних систем. Приклади застосування комп'ютерних MIMD-систем. Методика обробки даних векторними командами.	4
2	Налагодження програми з OpenMP. Правила застосування директиви Parallel OpenMP. Керування друком повідомлень. Визначення номеру потоку. Розрахунок часу виконання паралельної програми.	4
3	Налагодження програми з директивою sections OpenMP. Дослідження паралельного обчислення контрольного виразу із застосуванням секцій.	4
4	Налагодження програми з директивою parallel for OpenMP. Дослідження паралельного обчислення контрольного виразу із застосуванням ітераційного паралелізму.	4
5	Проаналізувати синхронізацію на прикладах розв'язання «класичних задач»: -«Виробники-Споживачі» (Producer-Consumer problem), -«Читачі-Письменники» (Readers-Writers problem), -«Філософи, які обідають» (Dining Philosopher problem), -«Цирульник, який спить» (Sleeping Barber problem).	4
6	Налагодити режим роботи з використанням MPI. Апробувати роботу з MPI на прикладах - програма для визначення номеру процесу, виведення номеру процесу і кількості активних процесів, характеристик системного таймеру (роздільну здатність і час, необхідний на виконання окремих дій)	4
7	Протестувати програму обчислення суми ряду, для чого забезпечити контрольний друк початкових значень чисел масиву, друк чисел в масивах процесів та обчислення суми іншим довільним способом. Розробити програму обчислення суми ряду при довільному розміру матриці та кількості процесів, формат чисел – з рухомою комою. Порівняти швидкодію роботи програм.	4
8	Завершити створення програми розсилки різнотипних даних (допускається зміна характеристик початкових даних). Проаналізувати процедуру опрацювання різнотипних даних. Надати графічне пояснення щодо результатів роботи програми розсилки різнотипних даних.	4
9	Приклади використання топології. Кодування вузлів у гіперкубі. Схемотехнічна реалізація арбітражу в топології Bus та Crossbus.	4



	Багатоштинна динамічна топологія. Схемотехнічна реалізація комутаторів. Приклади багатоступеневої динамічної топології мережі, що блокує. Приклади багатоступеневої динамічної топології, що не блокує. Приклади багатоступеневої динамічної топології, що ре конфігурує.	
10	Проаналізувати процедуру створення програм з різними групами і комунікаторами. Застосувати різні топології паралельних системи: (декартова, графова) при розв'язанні прикладу обчислення математичного виразу. Надати графічне пояснення щодо результатів роботи програми.	4
11	Приклади гетерогенних комп'ютерних систем з графічними процесорами на базі SIMD-архітектури.	4
12	Аналіз методики ефективної генерації програмного коду з CUDA.	4
13	Аналіз методики ефективної генерації програмного коду з OpenCL.	4
14	Приклади застосування законів Амдала, Густавсона для оцінки параметрів паралельних обчислень.	4
15	Приклади застосування методики розпаралелення для реалізації матричних перетворень та сортування даних.	4
	<b>Разом</b>	<b>60</b>

## 8. Контрольні питання для перевірки знань студентів (приклади питань)

1. Вказати на параметри кластерної обчислювальної системи за умови використання всередині кожного кластера окремого роутера для з'єднання обчислювальних елементів:

- кількість кластерів,
- загальну кількість ліній зв'язку між кластерними вузлами,
- кількість ліній зв'язку між обчислювальними елементами у кластерних вузлах загалом,
- усього зв'язків,
- найбільший час (в умовних тактах) передачі повідомлення між окремими кластерами та між окремими обчислювальними елементами системи

при наступних показниках:

- топологія – гіперкуб,
- загальна кількість обчислювальних елементів – 32768,
- кількість обчислювальних елементів у кожному кластерному вузлі – 4.

Для порівняння вказати на загальну кількість ліній зв'язку для некластерної системи топології гіперкубу за наявності аналогічної кількості обчислювальних елементів.

2. Відповідно до закону Амдала визначити послідовну частку обчислень, яка можлива у паралельній системі, загальна протяжність обчислень в якій дорівнює 94с. В системі без паралелізму протяжність обчислень дорівнює 8920с. Розрахунок виконати для двох топологій системи – кластерної та некластерної.

## 9. Методи навчання

Проведення лекцій з використанням технічних засобів навчання.

Виконання лабораторних робіт з використанням наочних технічних засобів навчання у вигляді систем моделювання за допомогою інженерних пакетів проектування цифрових пристроїв.

Проведення самостійної роботи засобами інформаційно-комунікаційних технологій в освіті.

Використовується електронний навчальний курс на платформі Moodle.

## 10. Форми контролю

Захист результатів виконання лабораторних робіт.

Контрольне тестування відповідно до кожного змістовного модуля, що створений у комп'ютерному навчальному середовищі.

Підсумкова атестація: іспит.

## 11. Розподіл балів, які отримують студенти

Оцінювання знань студента відбувається за 100-бальною шкалою і переводиться в національні оцінки згідно з табл.1 «Положення про екзамен та заліки у НУБіП України» (наказ про уведення в дію від 26.04.2023 р. №10):

Рейтинг здобувача вищої освіти, бали	Оцінка національна за результати складання екзаменів заліків	
	Екзамен	Залік
90-100	Відмінно	зараховано
74-89	Добре	
60-73	Задовільно	
0-59	незадовільно	не зараховано

Для визначення рейтингу студента із засвоєння дисципліни  $R_{\text{дис}}$  (до 100 балів) одержаний рейтинг з атестації  $R_{\text{ат}}$  (до 30 балів) додається до рейтингу студента з навчальної роботи  $R_{\text{НР}}$  (до 70 балів):  $R_{\text{дис}} = R_{\text{НР}} + R_{\text{ат}}$ .

Оцінка виконання та захисту лабораторних робіт за кожний модуль здійснюється у наступній відповідності:

№ лабораторної роботи	Кількість балів	Загальна кількість балів
<b>1 модуль</b>		
Лабораторна робота № 1	20	70
Лабораторна робота № 2	20	
Лабораторна робота № 3	30	
<b>2 модуль</b>		
Лабораторна робота № 4	20	70
Лабораторна робота № 5	10	
Лабораторна робота № 6	20	
Лабораторна робота № 7	20	
<b>3 модуль</b>		
Лабораторна робота № 8	35	70
Лабораторна робота № 9	35	

## 12. Методичне забезпечення

Електронний навчальний курс на платформі Moodle вміщує методичне забезпечення включаючи: лекції, презентації до лекцій, методичні вказівки до виконання лабораторних робіт, глосарій термінів тощо.

## 13. Рекомендована література

### Базова

1. Коцовський В. М. Теорія паралельних обчислень: навчальний посібник. Ужгород: ПП «АУТДОР-Шарк», 2021. 188 с.
2. Roman, Trobec. (2018) Introduction to Parallel Computing. From Algorithms to Programming on State-of-the-Art Platforms / Roman, Trobec, Boštjan Slivnik, Patricio Bulić, Borut Robič. (Springer Nature Switzerland AG 2018).

3. Stallings, William. (2016) Computer organization and architecture : designing for performance / William Stallings. - 10th ed. (Pearson Education, Inc., Hoboken).

#### **Допоміжна**

1. Gregory R. Andrews. (2000) Foundations of Multithreaded, Parallel and Distributed Programming. Addison Wesley Longman, Inc
2. Intel® 64 and IA-32 Architectures Software Developer's Manual

#### **14. Інформаційні ресурси**

1. <https://www.openmp.org//>
2. <https://computing.llnl.gov/tutorials/openMP/>
3. <https://sourceforge.net/projects/mingw-w64/>
4. <http://mingw-w64.org/doku.php>
5. <https://www.gnu.org/software/software.html>
6. <https://docs.microsoft.com/en-us/message-passing-interface/microsoft-mpi>
7. <https://docs.microsoft.com/en-us/archive/blogs/windowshpc/>
8. <https://docs.microsoft.com/en-us/archive/blogs/windowshpc/how-to-compile-and-run-a-simple-ms-mpi-program>