

# КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА

Факультет радіофізики, електроніки та комп'ютерних систем

Кафедра комп'ютерної інженерії

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Заступник декана з навчальної роботи

\_\_\_\_\_ Наталія ГОРБОВЦОВА

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2023 року

## РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Паралельні та розподілені обчислення

-

для студентів

галузь знань  
спеціальність  
рівень вищої освіти

12 Інформаційні технології  
123 Комп'ютерна інженерія  
перший

освітня програма

Інженерія комп'ютерних систем і мереж

вид дисципліни

вибіркова

Форма навчання

Денна

Навчальний рік

2023/2024

Семестр

7

Кількість кредитів ECTS

4

Мова викладання

українська

Форма заключного контролю

іспит

### Викладач:

Олександр САМОЩЕНКО, кандидат технічних наук, доцент кафедри комп'ютерної інженерії

Пролонговано: на 20\_\_/20\_\_ н. р. \_\_\_\_\_ ( \_\_\_\_\_ ) « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

на 20\_\_/20\_\_ н. р. \_\_\_\_\_ ( \_\_\_\_\_ ) « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**Розробник:**

**Олександр САМОЩЕНКО**, кандидат технічних наук, доцент кафедри комп'ютерної інженерії

**«ЗАТВЕРДЖЕНО»**

Завідувач кафедри комп'ютерної інженерії

\_\_\_\_\_ **Юрій БОЙКО**

Протокол № \_\_- від « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2023 р.

Схвалено науково-методичною комісією факультету радіофізики, електроніки та комп'ютерних систем

Протокол №\_\_- від «\_\_- » \_\_\_\_\_ 2023 р.

Голова науково-методичної комісії

**Сергій РАДЧЕНКО**

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2023 року.

## ВСТУП

**1. Мета дисципліни** – теоретична і практична підготовка здобувачів вищої освіти щодо формування здатності створювати та аналізувати програмні компоненти комп'ютерних систем з використанням засобів підтримки паралельних комп'ютерних обчислювальних операцій.

### **2. Попередні вимоги до опанування або вибору навчальної дисципліни:**

Навчальною базою для вивчення дисципліни «Паралельні та розподілені обчислення» є курси «Вища математика», «Англійська мова», «Програмування», «Дискретна математика», «Алгоритми і методи обчислень», «Системне програмування», «Апаратне та програмне забезпечення комп'ютерних систем».

### **3. Анотація навчальної дисципліни:**

Викладаються тенденції розвитку науки та техніки в галузі створення паралельних систем обробки даних, призначення, класифікація та структура цих засобів, способи їх організації, методи проектування алгоритмів паралельної обробки даних, правила застосування інструментальних засобів та мов паралельної обробки даних.

### **4. Завдання навчальної дисципліни (навчальні цілі):**

Дисципліна спрямована на формування компетентностей:

Загальні:

ЗК2. Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями.

ЗК3. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях

Спеціальні (фахові):

ФК2. Здатність використовувати сучасні методи і мови програмування для розроблення алгоритмічного та програмного забезпечення.

ФК3. Здатність створювати системне та прикладне програмне забезпечення комп'ютерних систем та мереж.

ФК7. 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.

### **5. Результати навчання за дисципліною:**

Результат навчання (1, знати; 2, вміти; 3, комунікація; 4, автономність та відповідальність)		Форми (та/або методи і технології) викладання і навчання	Методи оцінювання та пороговий критерій оцінювання (за необхідності)	Відсоток у підсумковій оцінці з дисципліни
Код	Результат навчання			
<b>1</b>	<b>знати:</b>	лекційні заняття	іспит	до 40
1.1	Методи паралельних обчислень для інженерно-технічних задач	лекція	іспит	15
1.2	Основні напрями забезпечення паралелізму в комп'ютерних системах	лекція	іспит	10
1.3	Методика розробки паралельних програм	лекція	іспит	15
<b>2</b>	<b>вміти:</b>	лабораторні заняття	модульні контрольні роботи	до 50
2.1	Створювати модель виконання паралельних програм	лабораторні заняття	МКР	15
2.2	Аналізувати складність обчислень і можливість розпаралелення алгоритмів	лабораторні заняття	МКР	20
2.3	Оцінювати основні параметри паралельних програм	лабораторні заняття	МКР	15

<b>3</b>	<b>комунікація:</b>	лабораторні заняття	модульні контрольні роботи	до 5
3.1	Здатність вербально пояснювати обраний метод забезпечення паралелізму при розв'язанні задачі	<i>лабораторні заняття</i>	<i>МКР</i>	2
3.2	Здатність послідовно викладати етапи та результати розв'язання задачі	<i>лабораторні заняття</i>	<i>МКР</i>	3
<b>4</b>	<b>автономність та відповідальність:</b>	лабораторні заняття	модульні контрольні роботи	до 5
4.1	Здатність до самостійного розв'язання поставлених завдань	<i>лабораторні заняття</i>	<i>МКР</i>	5

**6. Співвідношення результатів навчання дисципліни із програмними результатами навчання**

<b>Результати навчання</b> <b>Програмні результати навчання (назва)</b>	1.1	1.2	1.3	2.1	2.2	2.3	3.1	3.2	4.1
ПРН1. Знати і розуміти наукові положення, що лежать в основі функціонування комп'ютерних засобів, систем та мереж.	+	+	+						
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 програмне забезпечення для вбудованих і розподілених застосувань, мобільних і гібридних				+		+			
ПРН13. Вміти ідентифікувати, класифікувати та описувати роботу комп'ютерних систем та їх компонентів.					+	+			
ПРН18. Використовувати інформаційні технології для ефективного спілкування на професійному та соціальному рівнях.							+	+	
ПРН20. Усвідомлювати необхідність навчання впродовж усього життя з метою поглиблення набутих та здобуття нових фахових знань, удосконалення креативного мислення.									+

## 7. Схема формування оцінки

### 7.1. Форми оцінювання

Рівень досягнення всіх запланованих результатів навчання визначається за результатами виконання лабораторних робіт, розв'язання письмових контрольних завдань та надання письмових відповідей на питання екзаменаційного білету. Внесок результатів навчання у підсумкову оцінку, за умови їх опанування на належному рівні:

- 1.1 – 1.3 [знання] – до 40 %;
- 2.1 – 2.3 [вміння] – до 50%;
- 3.1-3.2 [комунікація] – до 5%;
- 4.1 [автономність та відповідальність] – до 5%;

Форми оцінювання:

- **семестрове оцінювання:** Навчальний семестр має три змістовні модулі, які передбачають оцінювання результатів лабораторних робіт та модульних контрольних завдань, виконання яких документується в письмовій або електронній формі. Результати виконання кожної з лабораторних робіт (усього 6 лабораторних робіт) оцінюються від 1 до 8 балів, в залежності від повноти і достовірності результатів, своєчасності виконання і надання звітності, якості звіту, успішності захисту результатів. Результати розв'язання модульних контрольних завдань (усього 3 модульних контролю) оцінюються від 1 до 4 балів. Усього за результати виконання лабораторних робіт та розв'язання модульних контрольних завдань можна отримати до **60 балів**.
- **підсумкове оцінювання (у формі іспиту):** форма іспиту – письмова. Екзаменаційний білет складається з 3 питань. Усього за іспит можна отримати до **40 балів**. Умовою досягнення позитивної оцінки є отримання не менш ніж **60 балів** при обов'язковому успішному складанні іспиту.
- **умови допуску до підсумкового іспиту:** умовою допуску до іспиту є отримання студентом сумарно не менше, ніж критично-розрахунковий мінімум за семестр. Студенти, які протягом семестру сумарно набрали меншу кількість балів, ніж критично-розрахунковий мінімум у **30 балів**, для одержання допуску до іспиту повинні виконати завдання за тематикою лабораторних робіт.

У випадку відсутності студента з поважних причин, відпрацювання лабораторних робіт та перездача модульних контрольних робіт, допуск до іспиту здійснюються у відповідності до “Положення про організацію освітнього процесу у Київському національному університеті імені Тараса Шевченка”.

### 7.2. Організація оцінювання;

Оцінювання за формами контролю:

Семестрове оцінювання	Кількість балів	
	Min. – 30	Max. – 60
Модульна контрольна робота 1	2	4
Модульна контрольна робота 2	2	4
Модульна контрольна робота 3	2	4
Захист результатів виконання лабораторних робіт	24	48

Орієнтований графік оцінювання:

Форма оцінювання	Орієнтовний період для здійснення відповідної форми оцінювання
Модульна контрольна робота 1	жовтень
Модульна контрольна робота 2	листопад
Модульна контрольна робота 3	грудень
Виконання лабораторних робіт	з вересня по грудень
Іспит	грудень

Розрахунок балів за умови успішного складання іспиту:

Значення	Протягом семестру	Іспит	Підсумкова оцінка
Мінімум	30	20	60
Максимум	60	40	100

### 7.3. Шкала відповідності оцінок

Оцінка (за національною шкалою) / National grade	Рівень досягнень, % / Marks, %
<b>Відмінно</b> / Excellent	90 – 100%
<b>Добре</b> / Good	75 – 89%
<b>Задовільно</b> / Satisfactory	60 – 74%
<b>Незадовільно</b> / Fail	0 – 59%

### 8. Структура навчальної дисципліни. Тематичний план лекційних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин		
		Лекції	Лабораторні роботи	Самостійна робота
<b>Змістовий модуль 1. Паралелізм в системах із загальною пам'яттю</b>				
1	<b>Визначення паралелізму та розподіленості обчислень.</b> 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.	2		4
2	<b>Програмування з OpenMP.</b> 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.	2	2	4
3	<b>Розпаралелення по задачам із застосуванням OpenMP.</b> Розподілення обчислювального навантаження між потоками. Визначення однопотокових 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).	2	4	4

4	<b>Керування розподілом ітерацій із застосуванням OpenMP.</b> Розподілення обчислювального навантаження у програмному циклі. Формат і параметри директиви for. Приклади програм з директивою for. Стратегії керування розподілом ітерацій. Розподіл ітерацій директивою ordered.	2	4	4
5	<b>Узгодження паралельних обчислень.</b> Модель пам'яті із загальним доступом до даних. Поняття процесу, ресурсу, потоку. Загальні данні, критична секція. Алгоритми взаємовиключення. Семафори для взаємовиключення. Алгоритми бар'єрної синхронізації. Синхронізація в OpenMP. Приклад замку в OpenMP.	2		4
<b>Змістовий модуль 2. Паралелізм в системах із розподіленою пам'яттю</b>				
6	<b>Програмування із MPI.</b> 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.	2	2	4
7	<b>Колективні взаємодії в MPI.</b> Особливості колективних операцій. Типи і варіанти подання колективних операцій. Головні функції.	2	4	4
8	<b>Похідні типи даних в MPI.</b> 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.	2	2	4
9	<b>Моделі комп'ютерних систем з паралельними та розподіленими обчисленнями.</b> 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.	2		4
10	<b>Налаштування в MPI.</b> Створення груп і комунікаторів. Формування і зміна топології обчислень. Зіставлення процесів паралелізму в різних топологіях.	2	2	4



### Змістовий модуль 3. Гетерогенні обчислення

11	<p><b>Головні положення з гетерогенних обчислень.</b> 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.</p>	2		6
12	<p><b>Програмування із CUDA.</b> Модель програмування в CUDA. Розширення мови C. Основи CUDA host API. Налаштування CUDA. Реалізація атомарних операцій та головних операцій з масивами даних.</p>	2	2	6
13	<p><b>Програмування із OpenCL.</b> Методика генерації коду OpenCL для пристроїв SIMD-архітектури. Застосування OpenCL для розв'язання задач опрацювання векторів та матриць.</p>	2	4	6
14	<p><b>Метрики паралельних обчислень та методика надання паралелізму комп'ютерним обчисленням.</b> Первинні показники динамічних характеристик паралельних алгоритмів. Продуктивність процесора, обсяг обчислень, степінь 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. 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.</p>	2	2	6
<b>Всього</b>		<b>28</b>	<b>28</b>	<b>64</b>

Загальний обсяг	<b>120</b> год., в тому числі:
Лекції	<b>28</b> год.
Лабораторні роботи	<b>28</b> год
Самостійна робота	<b>64</b> год.

## **9. Рекомендована література:**

### **Основні джерела:**

1. 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).
2. Tanenbaum, Andrew S. (2013) Structured computer organization / Andrew S. Tanenbaum, Todd Austin. -- 6th ed. (Pearson Education, Inc., publishing as Prentice Hall).
3. Patterson, David A. (2014) Computer organization and design: the hardware/software interface / David A. Patterson, John L. Hennessy. - 5th ed. (The Morgan Kaufmann series in computer architecture and design).
4. Stallings, William. (2016) Computer organization and architecture : designing for performance / William Stallings. - 10th ed. (Pearson Education, Inc., Hoboken).

### **Додаткові джерела:**

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.