

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ імені ІВАНА ФРАНКА

Кафедра (циклова комісія) \_\_\_\_\_ системного проектування \_\_\_\_\_

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Декан факультету \_\_\_\_\_

доц. Юрій ФУРГАЛА \_\_\_\_\_

“

”

2022 року

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

(шифр і назва навчальної дисципліни)

спеціальність \_\_\_\_\_ 121 – Інженерія програмного забезпечення \_\_\_\_\_

(шифр і назва спеціальності)

спеціалізація \_\_\_\_\_

(назва спеціалізації)

факультет \_\_\_\_\_ електроніки та комп'ютерних технологій \_\_\_\_\_

(назва інституту, факультету, відділення)

Робоча програма “Паралельні та розподілені обчислення” для студентів  
(назва навчальної дисципліни)  
 галузі знань “12 – Інформаційні технології”  
 за спеціальністю “121 Інженерія програмного забезпечення”

Розробники: Роман ШУВАР (кандидат фізико-математичних наук, доцент,  
завідувач кафедри системного проектування)  
(вказати авторів, їхні посади, наукові ступені та вчені звання)

Робочу програму схвалено на засіданні кафедри (циклової комісії) \_\_\_\_\_  
системного проектування

Протокол від “ 30 ” 08 2022 року № 1

Завідувач кафедри \_\_\_\_\_ системного проектування  
 \_\_\_\_\_ (Роман ШУВАР)  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Ухвалено Вченою радою факультету електроніки та комп’ютерних технологій

Протокол від “ 31 ” 08 2022 року № 28/22

### 1. Опис навчальної дисципліни

Найменування показників	Галузь знань, освітньо-кваліфікаційний рівень	Характеристика навчальної дисципліни	
		денна форма навчання	заочна форма навчання
Кількість кредитів <b>4</b>	Галузь знань <u>12 Інформаційні технології</u> (шифр і назва)	Нормативна (за вибором)	
Модулів – <i>немає</i>	Спеціальність: <u>121 Інженерія програмного забезпечення</u>	Рік підготовки	
Змістових модулів – <b>2</b>		<b>2-й</b>	
Індивідуальне науково-дослідне завдання <u>немає</u> (назва)		Семестр	
Загальна кількість годин – <b>120</b>		<b>4-й</b>	
Тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних – <b>4</b> самостійної роботи студента – <b>3,5</b>	Освітній ступінь <u>бакалавр</u>	Лекції	
		<b>32 год.</b>	
		Практичні, семінарські	
		<i>немає</i>	
		Лабораторні	
		<b>32 год.</b>	
		Самостійна робота	
		<b>56 год.</b>	
		Індивідуальні завдання:	
<i>немає</i>			
Вид контролю:			
<i>залік</i>			

Примітка.

Співвідношення кількості годин аудиторних занять до самостійної і індивідуальної роботи становить

для денної форми навчання – 1,14

для заочної форми навчання – немає

### 2. Мета та завдання навчальної дисципліни

**Мета:** ознайомлення студентів з сучасними підходами до організації розподілених обчислень, архітектурами розподілених обчислювальних систем і особливостями організації процесів розподіленої обробки інформації для оволодіння сучасними підходами та інструментами для раціональної експлуатації паралельних та розподілених комп'ютерних систем.

**Цілі:** забезпечити знайомство студентів з загальною теорією методів паралельних та розподілених обчислень і сформуванню навички їх практичного використання; навчити студента вибирати і обґрунтувати методи розв'язування

задач за допомогою паралельного виконання програм, вказувати область їх застосування, записувати алгоритм розв'язування, реалізовувати його на персональному комп'ютері.

У результаті вивчення даного курсу студент буде:

**знати:**

основні положення, що лежать в основі паралельних та розподілених обчислень, концепції сучасного програмування сучасні підходи до організації розподілених обчислень, архітектури розподілених обчислювальних систем і особливості організації процесів розподіленої обробки інформації. Мати навички створення та відлагодження паралельних та розподілених програм. Володіти методами і засобами програмного забезпечення для паралельних і розподілених комп'ютерних систем;

**вміти:**

застосовувати знання для розв'язування прикладних задач, а саме керувати та реалізовувати взаємодію процесів, моделювати паралельні обчислення, створювати та налагоджувати паралельні та розподілені програми, здійснювати побудову паралельних алгоритмів, створювати програми із застосуванням багатьох процесів (потоків). Реалізовувати синхронні або асинхронні варіанти паралельних процесів з використанням бібліотек MPI / OpenMP / CUDA, за допомогою стандартних засобів мови програмування C.

Після вивчення даного курсу «Паралельні та розподілені обчислення» здобувачі набудуть таких Загальних та Фахових компетентностей та Програмних результатів навчання:

K01. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.

K02. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.

K05. Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями.

K06. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.

K18. Здатність розробляти архітектури, модулі та компоненти програмних систем.

K30. Здатність використовувати для розробки програмного забезпечення перспективні технології, зокрема, системи штучного інтелекту, Fog/Edge-обчислення тощо.

K31. Володіння методами, серверними технологіями та інструментальними засобами проектування веб-застосувань.

K32. Здатність здійснювати розробку програмного забезпечення використовуючи різні парадигми програмування (в тому числі паралельне, об'єктно-орієнтоване, функціональне програмування тощо)

ПР05: Знати і застосовувати відповідні математичні поняття, методи доменного, системного і об'єктно-орієнтованого аналізу та математичного моделювання для розробки програмного забезпечення.

### 3. Програма навчальної дисципліни

#### Змістовий модуль 1.

Тема 1. *Основні поняття паралельних обчислень та розподілених систем.*

Огляд основних понять паралельних обчислень та розподілених систем. Бібліотека OpenMP: історія розвитку, ключові поняття, базові функції та конструкції..

Тема 2. *Основні елементи OpenMP. Структура програми OpenMP. Директиви компілятора. Конструкції для створення та управління потоками.*

Конструкції розподілення роботи між потоками. Конструкції для управління роботи з даними. Приклади паралельних реалізацій множення матриць та векторів.

Тема 3. *Конструкції для синхронізації потоків в OpenMP. Замки..*

Огляд директив синхронізації потоків. Синхронізація за допомогою технології замків. Види замків та принципи їх роботи. Приклади застосування замків для синхронізації потоків.

Тема 4. *Функції часу виконання OpenMP. Функції середовища виконання. Змінні оточення.*

Замір часу виконання паралельної програми. Огляд основних функцій середовища виконання OpenMP програми. Огляд основних змінних оточення середовища OpenMP, приклади застосування. Паралельний розв'язок СЛАР методом Гауса.

Тема 5. *Завдання (Task) в OpenMP. Огляд стандартів 2.5, 3.0, 3.1, 4.0, 4.5, 5.0 та 5.1.*

Огляд завдань (tasks) для організації паралельного виконання програми. Опції для роботи з завданнями, директиви синхронізації виконання завдань Огляд нововведень у стандартах OpenMP 2.5, 3.0, 3.1, 4.0, 4.5, 5.0 та 5.1.

Тема 6. *Підхід до реалізації паралельних обчислень на основі MPI. Основні поняття MPI.*

Стандарти MPI та його реалізації. Основні поняття MPI, приклад MPI програми. Типи даних MPI, функції визначення часу виконання MPI програми. Структура програми, що використовує інтерфейс MPI. Функція MPI\_Init. Функція MPI\_Finalize. Функції MPI\_Comm\_size і MPI\_Comm\_rank. Функція MPI\_Abort.

Тема 7. *Обміни повідомленнями між процесами в MPI.*

Комунікації точка-точка. Блокуюча передача. Блокуючий прийом. Бар'єрна синхронізація. Функція MPI\_Sendrecv.

Тема 8. *Комунікаційні режими в MPI. Колективні операції передачі даних.*

Комунікаційні режими з блокуванням та без блокування.

## **Змістовий модуль 2.**

Тема 9. *Синхронізація процесів. Колективні комунікаційні операції.*

Використання блокуючих операцій комунікації. Використання передачі по готовності. Неблокуючий обмін. Об'єднання запитів на прийом/відправлення повідомлень.

Тема 10. *Глобальні обчислювальні операції над розподіленими даними в MPI. Користувацькі функції. Комунікатори і групи процесів.*

Функції виконання глобальних обчислювальних операцій. Комунікатори і групи процесів. Функції для роботи з існуючими групами. Функції для створення та знищення груп та комунікаторів. Приклади паралельних реалізацій.

Тема 11. *Типи даних MPI. Похідні типи даних. Функції упаковки та розпакування даних. Функції декартових топологій.*

Огляд основних типів даних в MPI. Приклади застосування функцій упаковки та розпаковки. Віртуальні топології, функції декартових топологій, приклади реалізацій.

Тема 12. *Технологія CUDA. Реалізація неграфічних обчислень на графічних процесорах.*

GPGPU. Технологія CUDA. Інструменти CUDA. CUDA Toolkit. Огляд архітектур графічних процесорів NVidia.

Тема 13. *CUDA C. Основи програмування.*

Основи програмування мовою CUDA C. Типи обчислювальних систем. Основні терміни. Модель пам'яті CUDA. Основні функції CUDA C. Практичне застосування інструментів CUDA C.

Тема 14. *Розподілені системи..*

Кластери паралельних та розподілених обчислень. Приклади застосувань паралельних обчислень.

Тема 15. *Розподілені обчислення.*

Комп'ютерні кластери. Кластер лабораторії високопродуктивних обчислювальних систем. HTCondor. Знайомство та розгортання системи. Завдання. Знайомство з доступними API. Використання з MPI застосунками.

Тема 16. *Високопродуктивні обчислювальні системи.*

Виконання складних паралельних обчислень на кластері лабораторії високопродуктивних обчислювальних систем. Java, Python реалізації в HTCondor. Адміністрування

## 4. 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.		л	п	лаб	інд	с. р.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
<b>Змістовий модуль 1</b>												
Тема 1. Основні поняття паралельних обчислень та розподілених систем.		2		2		3,5						
Тема 2. Основні елементи OpenMP. Структура програми OpenMP. Директиви компілятора. Конструкції для створення та управління потоками.		2		2		3,5						
Тема 3. Конструкції для синхронізації потоків в OpenMP. Замки.		2		2		3,5						
Тема 4. Функції часу виконання OpenMP. Функції середовища виконання. Змінні оточення.		2		2		3,5						
Тема 5. Завдання (Task) в OpenMP. Огляд стандартів 2.5, 3.0, 3.1, 4.0, 4.5, 5.0 та 5.1.		2		2		3,5						
Тема 6. Підхід до реалізації паралельних обчислень на основі MPI. Основні поняття MPI.		2		2		3,5						
Тема 7. Обміни повідомленнями між процесами в MPI.		2		2		3,5						
Тема 8. Комунікаційні режими в MPI. Колективні операції передачі даних.		2		2		3,5						
<b>Разом за змістовим модулем 1</b>		<b>16</b>		<b>16</b>		<b>28</b>						
<b>Змістовий модуль 2</b>												
Тема 9. Синхронізація процесів. Колективні комунікаційні операції.		2		2		3,5						

Тема 10. Глобальні обчислювальні операції над розподіленими даними в MPI. Користувацькі функції. Комунікатори і групи процесів.		2	2		3,5						
Тема 11. Типи даних MPI. Похідні типи даних. Функції упаковки та розпакування даних. Функції декартових топологій.		2	2		3,5						
Тема 12. Технологія CUDA. Реалізація неграфічних обчислень на графічних процесорах.		2	2		3,5						
Тема 13. CUDA C. Основи програмування.		2	2		3,5						
Тема 14. Розподілені системи.		2	2		3,5						
Тема 15. Розподілені обчислення.		2	2		3,5						
Тема 16. Високопродуктивні обчислювальні системи.		2	2		3,5						
Разом за змістовим модулем 2		<b>16</b>	<b>16</b>		<b>28</b>						
<b>Усього годин</b>		<b>32</b>	<b>32</b>		<b>56</b>						



### 5. Теми семінарських занять

### 6. Теми практичних занять

### 7. Теми лабораторних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	<i>Вступне заняття. Техніка безпеки, перевірка обладнання та налаштування програмного забезпечення. Робота в навчальному кластері. Послідовна версія програм</i>	2
2	<i>Лаб.1. Основні конструкції OpenMP програм</i>	2
3	<i>Лаб.2. Паралельні цикли в OpenMP програмах</i>	2
4	<i>Лаб.3. Синхронізація в OpenMP програмах</i>	2
5	<i>Лаб.4. Реалізація LU-розкладу матриці за допомогою завдань (tasks) в OpenMP програмах</i>	2
6	<i>Лаб.5. Реалізація алгоритмів сортування засобами OpenMP</i>	2
7	<i>Лаб. 6. Комунікації «точка-точка»: прості блоковані обміни</i>	2
8	<i>Підсумкове заняття ЗМ 1</i>	2
9	<i>Лаб.7. Комунікації «точка-точка». Неблокуючі передачі в MPI</i>	2
10	<i>Лаб.8. Колективні функції</i>	2
11	<i>Лаб.9. Групи і комунікатори</i>	2
12	<i>Лаб.10. Отримання інформації про GPU з підтримкою CUDA</i>	2
13	<i>Лаб.11. Реалізація Single-Precision <math>A \cdot X</math> Plus <math>Y</math> за допомогою CUDA C API</i>	2
14	<i>Лаб.12. Реалізація паралельного множення матриць за допомогою CUDA C API</i>	2
15	<i>Лаб. 13. Знайомство з HTCondor. Розгортання та робота із MPI застосункам</i>	2
16	<i>Підсумкове заняття ЗМ 2</i>	2
	<b>Разом</b>	<b>32</b>

## 8. Самостійна робота

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	<i>Вступне заняття. Техніка безпеки, перевірка обладнання та налаштування програмного забезпечення. Робота в навчальному кластері. Послідовна версія програм</i>	3,5
2	<i>Основні конструкції OpenMP програм</i>	3,5
3	<i>Паралельні цикли в OpenMP програмах</i>	3,5
4	<i>Синхронізація в OpenMP програмах</i>	3,5
5	<i>Реалізація LU-розкладу матриці за допомогою завдань (tasks) в OpenMP програмах</i>	3,5
6	<i>Реалізація алгоритмів сортування засобами OpenMP</i>	3,5
7	<i>Комунікації «точка-точка»: прості блоковані обміни</i>	3,5
8	<i>Огляд допоміжних MPI функцій</i>	3,5
9	<i>Комунікації «точка-точка». Неблокуючі передачі в MPI</i>	3,5
10	<i>Колективні функції</i>	3,5
11	<i>Групи і комунікатори</i>	3,5
12	<i>Отримання інформації про GPU з підтримкою CUDA</i>	3,5
13	<i>Реалізація Single-Precision <math>A \cdot X</math> Plus <math>Y</math> за допомогою CUDA C API</i>	3,5
14	<i>Реалізація паралельного множення матриць за допомогою CUDA C API</i>	3,5
15	<i>Знайомство з HTCondor. Розгортання та робота із MPI застосунками</i>	3,5
16	<i>Огляд Java та Python реалізацій в HTCondor</i>	3,5
	<b>Разом</b>	<b>56</b>

## 9. Індивідуальні завдання

### 10. Методи навчання

Інформаційні методи (лекція, бесіда, ілюстрація, демонстрація); дедуктивні методи на основі узагальнень; евристичні методи (проблемна лекція); інтерактивні методи (дискусія).

### 11. Методи контролю

Поточний контроль здійснюється шляхом проведення усного опитування, перевірки модульних завдань та звітів про виконані лабораторні роботи. У кінці курсу проводиться залік.

Оцінювання проводиться за 100-бальною шкалою. Бали нараховуються за наступним співвідношенням:

- Змістовий модуль 1: 25% семестрової оцінки за виконання модульного завдання (есе, тест, написання програми, тощо).
- Змістовий модуль 2: 25% семестрової оцінки за виконання модульного завдання (есе, тест, написання програми, тощо).
- Виконання лабораторних робіт: 50% семестрової оцінки, максимальна кількість балів 50.

Залік: підсумкова максимальна кількість балів 100.

## 12. Розподіл балів, які отримують студенти

Поточне тестування та самостійна робота																Сума
Змістовий модуль 1, лабораторні роботи								Змістовий модуль 2, лабораторні роботи								100
T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	
2	2	3	3	3	4	4	4	4	3	3	3	3	3	3	3	

T1, T2 ... T12 – теми змістових модулів.

### Шкала оцінювання: національна та ЄКТС

Оцінка ЄКТС	Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка за національною шкалою	
		для екзамену, курсового проекту (роботи), практики	для заліку
A	90 – 100	відмінно	
B	81-89	добре	
C	71-80		
D	61-70		
E	51-60	задовільно	
FХ	21-50	незадовільно з можливістю повторного складання	не зараховано з можливістю повторного складання
F	0-20	незадовільно з обов'язковим повторним вивченням дисципліни	не зараховано з обов'язковим повторним вивченням дисципліни

\* кількість балів для оцінок «незадовільно» (FХ і F) визначається Вченими радами факультетів (педагогічними радами коледжів).

### 13. Методичне забезпечення

- 1) Сайт курсу: <https://moodle.elct.lnu.edu.ua/course/view.php?id=189>

### 14. Рекомендована література

#### Основна

- 1) Chandra, R., Dagum, L., Kohr, D., Maydan, D., McDonald, J., and Melon, R. (2000). *Parallel Programming in OpenMP*. San-Francisco, CA: Morgan Kaufmann Publishers.
- 2) *OpenMP Common Core: Making OpenMP Simple Again* – Tim Mattson, Helen He, Alice Koniges (2019).
- 3) William Gropp Ewing Lusk, Anthony Skjellum. *Using MPI, third edition: Portable Parallel Programming with the Message-Passing Interface (Scientific and Engineering Computation) Paperback* – November 7, 2014
- 4) Edward Kandrot. *CUDA by Example: An Introduction to General-Purpose GPU Programming*. Michigan, April 2012.
- 5) Ruud van der Pas, Eric Stotzer and Christian Terboven. *Using OpenMP – The Next Step*, 2017.
- 6) Семеренко, В. П. *Технології паралельних обчислень : навчальний посібник / Семеренко В. П. – Вінниця : ВНТУ, 2018. – 104 ст.*
- 7) HTCondor Version 10.2.1 Manual. Available at: <https://htcondor.readthedocs.io/en/latest/index.html>

#### Допоміжна

- 1) Barbara Chapman, Gabriele Jost, Ruud van der Pas. *Using OpenMP: portable shared memory parallel programming (Scientific and Engineering Computation)*. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press., 2008. - 353 pp
- 2) Петренко А. І. *Практикум з грид-технологій : навчальний посібник / А. І. Петренко, С. Я. Свістунов, Г. Д. Кисельов. – К. : НТУУ «КПІ», 2011. – 580 ст.*
- 3) Рольщиков В. Б. *Технології розподілених систем та паралельних обчислень. Конспект лекцій. Одеса: ОДЕКУ 2016.155 ст.*
- 4) В. Ю. Вінник. *Алгоритмічні мови та основи програмування: мова С. Навчальний посібник. – Житомир: ЖДТУ, 2007. 328 ст.*

### 15. Інформаційні ресурси

1. Internet – джерела.
2. Наукова бібліотека Львівського національного університету імені Івана Франка (<https://www.lnulibrary.lviv.ua/to-users-2/paid-services/internet/> ).
3. Львівська національна наукова бібліотека України імені Василя Стефаника (<https://www.lsl.lviv.ua/index.php/uk/elektronni-resursy1/> ).