

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ КОМП'ЮТЕРНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

ЗАТВЕРДЖУЮ

В. о. декана факультету комп'ютерних
інформаційних технологій

Ігор ЯКИМЕНКО

“ _____ 2023 р.

ЗАТВЕРДЖУЮ

В. о. проректора з науково-
педагогічної роботи

Віктор ОСТРОВЕРХОВ

“ _____ 2023 р.

ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор навчально-наукового
інституту новітніх освітніх технологій

Святослав ПИТЕЛЬ

“ _____ 2023 р.

РОБОЧА ПРОГРАМА

з дисципліни «Паралельні та розподілені комп'ютерні системи»

ступінь вищої освіти – бакалавр

галузь знань – 12 “Інформаційні технології”

спеціальність – 123 “Комп'ютерна інженерія”

освітньо-професійна програма – „Комп'ютерна інженерія”

Кафедра комп'ютерної інженерії

Форма навчання	Курс	Семестр	Лекції (год.)	Лабораторні (год.)	ІРС (год.)	Тренінг, КПЗ (год.)	Самост. робота студ. (год.)	Разом (год.)	Залік (сем.)	Екз. (сем.)
Денна	3	5	28	28	3	8	83	150	-	5
Заочна	3	5	8	4	-	-	138	150	-	5

31.08.2023

Тернопіль – ЗУНУ
2023

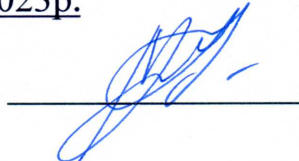
Робоча програма складена на основі освітньо – професійної програми підготовки бакалавра галузі знань 12 “Інформаційні технології” спеціальності 123 “Комп’ютерна інженерія”, затвердженої Вченою радою ЗУНУ (протокол № 9 від 26.05.2021 р.).

Робочу програму склав к.т.н., доцент кафедри КІ

Олег ПЦУН

Робоча програма затверджена на засіданні кафедри комп’ютерної інженерії, протокол №1 від 28 серпня 2023р.

Завідувач кафедри



Леся ДУБЧАК

Розглянуто та схвалено групою забезпечення спеціальності «Комп’ютерна інженерія», протокол №1 від 28 серпня 2023 р.

Голова ГЗС



Олег БЕРЕЗЬКИЙ

Гарант ОП



Леся ДУБЧАК

СТРУКТУРА РОБОЧОЇ ПРОГРАМИ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ
" Паралельні та розподілені комп'ютерні системи "

1. Опис дисципліни «Паралельні та розподілені комп'ютерні системи»

Дисципліна «Паралельні та розподілені комп'ютерні системи»	Галузь знань, спеціальність, ступінь вищої освіти	Характеристика навчальної дисципліни
Кількість кредитів – 5	Галузь знань – 12 „Інформаційні технології”	Статус дисципліни – обов'язкова Мова навчання – українська
Кількість залікових модулів: 4	Спеціальність – 123 „Комп'ютерна інженерія”	Рік підготовки: <i>Денна</i> - 3 <i>Заочна</i> – 3 Семестр: <i>Денна</i> – 5 <i>Заочна</i> – 5
Кількість змістових модулів – 4	Ступінь вищої освіти - бакалавр	Лекції: <i>Денна</i> - 28 год., <i>Заочна</i> – 8 год. Лабораторні заняття: <i>Денна</i> - 28 год. <i>Заочна</i> – 4 год.
Загальна кількість годин – <i>Денна</i> – 150 год., <i>Заочна</i> - 150 год.		Самостійна робота: <i>Денна</i> – 83 год. <i>Заочна</i> – 138 год. Тренінг, КППЗ – 8 год. Індивідуальна робота: <i>Денна</i> - 3 год.
Тижневих годин: <i>Денна</i> : 1 семестр – 11 год., з них аудиторних – 4 год.		Вид підсумкового контролю <i>Денна</i> : 5 семестр – екзамен <i>Заочна</i> : 5 семестр – екзамен

2. Мета й завдання дисципліни

" Паралельні та розподілені комп'ютерні системи "

2.1. Мета вивчення дисципліни

Програма та тематичний план дисципліни орієнтовані на отримання студентами навиків та знань щодо використання технологій паралельних та розподілених обчислень під час розробки програмного забезпечення.

Студенти вивчають теоретичні та практичні аспекти розробки програмного забезпечення із застосуванням сучасних алгоритмів розпаралелення

Вивчення курсу „ Паралельні та розподілені комп'ютерні системи” передбачає наявність систематичних та ґрунтовних знань із суміжних курсів («Прикладне ПЗ для КСМ», «Комп'ютерна логіка», «Архітектура комп'ютерів»), а також цілеспрямованої роботи на лекційних та лабораторних заняттях, самостійної роботи студентів.

2.2 Завдання вивчення дисципліни

Завдання курсу полягає в ознайомленні студентів з сучасними підходами до розробки програмного забезпечення, що включає елементи паралельних та розподілених обчислень, а також освоєння студентами практичних навичок роботи з існуючими бібліотеками та фреймворками.

2.3. Найменування та опис компетентностей, формування котрих забезпечує вивчення дисципліни:

К13. Здатність створювати системне та прикладне програмне забезпечення комп'ютерних систем та мереж.

К15. Здатність використовувати засоби і системи автоматизації проектування до розроблення компонентів комп'ютерних систем та мереж, Інтернет додатків, кіберфізичних систем тощо.

К17. 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.

К24. Здатність проектувати системи та їхні компоненти з урахуванням усіх аспектів їх життєвого циклу та поставленої задачі, включаючи створення, налаштування, експлуатацію, технічне обслуговування та утилізацію.

2.4. Передумови для вивчення дисципліни

Зазначена дисципліна включена до циклу дисциплін професійної підготовки за переліком програми. У структурно-логічній схемі навчання зазначена дисципліна розміщена на III-му курсі. Вивчення курсу " Паралельні та розподілені комп'ютерні системи " передбачає наявність систематичних та ґрунтовних знань із курсу «Комп'ютерні системи», цілеспрямованої роботи над вивченням спеціальної літератури, активної роботи на лекціях та практичних заняттях, самостійної роботи.

2.5. Результати навчання

В результаті вивчення дисципліни студенти повинні:

ПРН3. Знати новітні технології в галузі комп'ютерної інженерії.

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.

ПРН13. Вміти ідентифікувати, класифікувати та описувати роботу комп'ютерних систем та їх компонентів

ПРН15. Вміти виконувати експериментальні дослідження за професійною тематикою.

3. Програма навчальної дисципліни **«Паралельні та розподілені комп'ютерні системи»**

Змістовий модуль 1. Основи паралельних та розподілених обчислень.

Тема 1. Вступ. Поняття паралельних і розподілених обчислень.

Поняття паралелізму. Два узагальнені підходи до досягнення паралельності. Переваги паралельних обчислень. Найпростіша модель розпаралелення. Переваги розподілених обчислень. Найпростіші моделі розподілених обчислень. Мульти-агентні розподілені обчислення. Основні етапи проектування паралельних та розподілених алгоритмів. Базові рівні програмного паралелізму.

Література: 1-3,10.

Тема 2. Структури паралельних та розподілених комп'ютерних систем.

Класифікація паралельних систем. Архітектура векторно - конвейерних паралельних комп'ютерів. Векторно – конвейерні комп'ютери/ Паралельні комп'ютери з сумісною пам'яттю. Архітектура паралельних комп'ютерів з розподіленою пам'яттю. Архітектури кластерних обчислень. Концепція GRID та метакомп'ютинг.

Література: 6-9.

Тема 3. Моделі паралельних та розподілених обчислень

Основні типи паралельних програм. Ітеративний паралелізм. Рекурсивний паралелізм. Модель „виробники-споживачі”. Паралельна парадигма „клієнт - сервер”. Паралельна модель „Взаємодіючі рівні”.

Література: 3, 9.

Тема 4. Представлення паралельних алгоритмів

Графове представлення паралельного алгоритму. Алгоритми з необмеженим паралелізмом. Алгоритми з внутрішнім паралелізмом. Графи залежностей і розвертання графів.

Література: 4, 15.

Змістовий модуль 2. Моделі паралельних обчислень та їх представлення

Тема 5. Обчислювальні процеси та їх синхронізація

Визначення етапів та структури процесу. Неділимі дії і оператор очікування. Блокування та бар'єри. Семафор. Бар'єрна синхронізація за допомогою семафора. Література: 5, 6.

Тема 6. Процеси. Стан процесу. Взаємодія процесів

Поняття процесу. Можливі стани, історія та властивості процесів. Створення/Завершення, виконання процесу. Інформація, що характеризує стан процесу. Блок управління процесом. Організація комунікації між процесами. Література: 10.

Тема 7. Класичні проблеми синхронізації процесів. Атомарні змінні, семафори, мютекси, події, критичні секції, монітори

Оператор очікування. Тип синхронізації „виробник-споживач”. Виконання критичної секції: взаємне виключення. Виробники та споживачі: двійкові семафори. Кільцеві буфера. Задача „обідаючих філософів”. Задача „читачі та письменники” з використанням семафорів. Задача „читачі та письменники” з використанням механізму виключень. Задача „читачі та письменники” з використанням умовної синхронізації. Загальне визначення мютексів. Обробка подій. Загальне визначення монітору. Основні властивості моніторів. Вирішення задачі взаємного виключення за допомогою моніторів.

Література: 1, 2, 10.

Змістовий модуль 3. Поняття процесу та синхронізація процесів.

Тема 8. Поняття асинхронності.

Асинхронна передача повідомлень. Використання фільтрів для передачі повідомлень. Передача повідомлень в архітектурі „клієнт-сервер”. Передача повідомлень: активні монітори. Синхронна передача повідомлень. Синхронізація в модулях. Розробка автоматизованих тестів.

Література: 7.

Тема 9. Мови паралельного програмування

Класифікація паралельних мов і систем програмування. Технології паралельного і розподіленого програмування в мовах Java, C++.

Література: 7.

Тема 10. Бібліотеки паралельного програмування

Використання бібліотеки паралельного програмування Pthreads. Бібліотека паралельного програмування OpenMP. Основні директиви компілятора бібліотеки OpenMP. Приклад паралельної програми з використанням бібліотеки OpenMP.

Література: 6.

Змістовий модуль 4. Програмні засоби синхронізації процесів та потоків.

Тема 11. Розпаралелення з допомогою бібліотеки MPI.

Стандарти бібліотеки паралельного програмування MPI. Основні функції MPI. Приклад паралельної програми з використанням бібліотеки MPI. Реалізації MPI.

Література: 7.

Тема 12. Організації розподіленого зберігання і обробки наборів великих даних з використанням технології Apache Hadoop

Розподілена обробка даних. Grid-технології. Хмарні обчислення. Поняття Apache Hadoop. Основні модулі Hadoop. Режими роботи Hadoop

Література: 12-15.

Тема 13. Веб – технології розпаралеленої обробки даних

Сучасні фреймворки для розробки веб-застосунків з елементами розпаралення.

Література: 12-15.

4. Структура залікового кредиту дисципліни «Паралельні та розподілені комп'ютерні системи»

(денна форма навчання)

Тема	Кількість годин					
	Лекції	Лабораторні заняття	Самостійна робота	Індивідуальна робота	Тренінги, КПЗ	Контрольні заходи
Змістовий модуль 1						
Тема 1. Вступ. Поняття паралельних і розподілених обчислень	2	2	6		2	опитування
Тема 2. Структури паралельних та розподілених комп'ютерних систем	2	2	6			опитування
Тема 3. Моделі паралельних та розподілених обчислень.	2	2	6			опитування
Тема 4. Представлення паралельних алгоритмів	2	2	6			опитування
Змістовий модуль 2						

Тема 5. Обчислювальні процеси та їх синхронізація	2	2	7		2	опитування
Тема 6. Процеси. Стан процесу. Взаємодія процесів	2	2	7			опитування
Тема 7. Класичні проблеми синхронізації процесів. Атомарні змінні, семафори, мютекси, події, критичні секції, монітори	2	2	7	1		опитування
Змістовий модуль 3						
Тема 8. Поняття асинхронності	2	2	7		2	опитування
Тема 9. Мови паралельного програмування	2	2	6			опитування
Тема 10. Бібліотеки паралельного програмування	2	2	7	1		опитування
Змістовий модуль 4						
Тема 11. Розпаралелення з допомогою бібліотеки MPI.	2	2	6		2	опитування
Тема 12. Організації розподіленого зберігання і обробки наборів великих даних з використанням технології Apache Hadoop	3	3	6	1		опитування
Тема 13. Веб – технології розпаралеленої обробки даних	3	3	6			опитування
Разом	28	28	83	3	8	

(заочна форма навчання)

Тема	Кількість годин				
	Лекції	Лабораторні заняття	ІРС	Тренінг, КПЗ	Самостійна робота
Змістовий модуль 1					
Тема 1. Основи паралельних і розподілених обчислень.	1				18
Тема 2. Структури паралельних та розподілених комп'ютерних систем	1	1			18
Змістовий модуль 2					
Тема 3. Моделі паралельних та розподілених обчислень	1	1			18
Тема 4. Представлення паралельних алгоритмів.	1				18
Змістовий модуль 3					

Тема 5. Обчислювальні процеси та їх синхронізація	1	1			18
Тема 6. Процеси. Стан процесу. Взаємодія процесів	1				16
Тема 7. Класичні проблеми синхронізації процесів. Атомарні змінні, семафори, мютекси, події, критичні секції, монітори..	1				16
Змістовий модуль 4					
Тема 8. Поняття асинхронності	1	1			16
Разом	8	4			138

5. Тематика лабораторних занять

Лабораторна робота №1.

Тема: Організація багатозадачності за допомогою потоків на основі технології JAVA.

Мета: Організація із синтаксисом мови програмування JAVA та бібліотек для роботи з потоками.

Питання для обговорення:

1. Підходи для забезпечення багатопотоковості в Java
2. Інтерфейс Runnable
3. Клас Thread та його методи

Література: 1, 2, 8.

Лабораторна робота №2.

Тема: Розпаралелення секцій програми за допомогою технології OpenMP.

Мета: Ознайомитись із бібліотекою OpenMP для розпаралелення задач на рівні потоків з допомогою C++.

Питання для обговорення:

1. Поняття прагми
2. Прагми для розпаралелення циклів
3. Прагми для розпаралелення секцій коду

Література: 1, 4, 8.

Лабораторна робота №3.

Тема: Веб – технології для забезпечення асинхронної роботи.

Мета: Ознайомитись із асинхронною обробкою в клієнт-серверних застосунках.

Питання для обговорення:

1. Поняття технології AJAX
2. Відмінність асинхронного виконання від синхронного
3. Засоби технології Javascript для забезпечення асинхронності

Література: 4, 8, 16.

Лабораторна робота №4.

Тема: Організації розподіленого зберігання і обробки наборів великих

даних з використанням технології Apache Hadoop.

Мета: Набуття практичних навичок налаштування фреймворку Apache Hadoop на ОС Linux.

Питання для обговорення:

1. Основні складові Apache Hadoop
2. Команди Linux для роботи з користувачами
3. Технологія MapReduce

Література: 4, 8.

Лабораторна робота №5.

Тема: Ознайомлення з технологією реалізації паралельних обчислень на основі технології CUDA.

Мета: Навчитись розпаралелювати задачі на рівні графічного процесора.

Питання для обговорення:

1. Функції CUDA для роботи з потоками
2. Синхронізація в CUDA
3. Види алгоритмів

Література: 4, 8.

6. Комплексне практичне індивідуальне завдання

Комплексні практичні індивідуальні завдання (КПЗ) виконуються самостійно кожним студентом згідно з варіантом, отриманим у викладача.

Варіанти КПЗ з дисципліни «Паралельні та розподілені комп'ютерні системи»:

№ варіанту	Тема
1	Поштовий клієнт
2	Програмна система відео монтажу
3	Реалізація алгоритму сегментації k-means (к-середніх) зображення
4	Редактор HTML файлів
5	Реалізація фільтрації зображень методом Гауса
6	Програмна реалізація відеоконференції
7	Реалізація алгоритму сегментації watershed (водоподіл) зображення
8	Програма аналізу успішності навчання студентами груп КСМ
9	Програма аналізу рівня знань вступників на спеціальність КСМ
10	Програма аналізу завантаженості викладачів кафедри КІ
11	Реалізувати програму для аналізу за змінами температури в заданому місті
12	Програма отримання відеопотоку з віддалено розташованих Веб-камер

13	Реалізація фільтрації зображень методом Медіанної фільтрації
14	Прикладний програмний додаток розсилки повідомлень на основі технології SMS для стандарту GSM
15	Програма детекції людського обличчя на зображенні
16	Програма детекції людського обличчя з веб - камери
17	Розробка власного чату з графічним інтерфейсом
18	Реалізація алгоритму порогової сегментації цифрового зображення
19	Розробка власного графічного редактора
20	Комп'ютерна система організації робочого часу працівника
21	Програма-парсер сторонніх веб-сайтів
22	Програма пошуку об'єктів на зображенні
23	Програма реалізації роботи штучних нейронних мереж для розпізнавання образів
24	Програма класифікації даних на основі технології SVM
25	Програма класифікації даних на основі методу k-means

7. Самостійна робота студентів

(денна форма навчання)

№ п/п	Тематика
1	Актуальність паралельних і розподілених обчислень
2	Структури паралельних та розподілених комп'ютерних систем.
3	Моделі паралельних та розподілених обчислень
4	Паралельні алгоритми: представлення, побудова та аналіз
5	Процеси. Стан процесу. Взаємодія процесів. Тупики
6	Взаємодія процесів через спільні змінні. Завдання взаємного виключення і синхронізації та засоби її вирішення
7	Взаємодія процесів через посилання повідомлень. Примітиви Send/Receive.
8	Мови паралельного програмування
9	Підходи для забезпечення багатопотоковості в Java
10	Бібліотеки паралельного програмування
11	Програмування для багатоядерних систем

(заочна форма навчання)

№ п/п	Тематика
1	Актуальність паралельних і розподілених обчислень
2	Структури паралельних та розподілених комп'ютерних систем.

3	Моделі паралельних та розподілених обчислень
4	Паралельні алгоритми: представлення, побудова та аналіз
5	Процеси. Стан процесу. Взаємодія процесів. Тупики
6	Взаємодія процесів через спільні змінні. Завдання взаємного виключення і синхронізації та засоби її вирішення
7	Взаємодія процесів через посилання повідомлень. Примітиви Send/Receive.
8	Мови паралельного програмування
9	Підходи для забезпечення багатопотоковості в Java
10	Бібліотеки паралельного програмування
11	Програмування для багатоядерних систем

8 Організація та проведення тренінгу з дисципліни «Паралельні та розподілені комп'ютерні системи»

№п/п	Вид роботи	Порядок проведення тренінгу
1	Огляд сучасних систем паралельних та розподілених обчислень	Розгляд сучасних технологій паралельних та розподілених обчислень DCOM, OpenMP, MPI, MPE, CUDA;
2	Проектування процесу реалізації завдання на основі технології паралельних чи розподілених обчислень (згідно завдання)	– постановка задачі; – проектування процесу реалізації завдання
3	Реалізація паралельного чи розподіленого процесу (згідно завдання)	– вибір середовища програмування реалізація завдання у вибраному середовищі

9. Засоби оцінювання та методи демонстрування результатів навчання

У навчальному процесі застосовуються: лекції, в тому числі з використанням мультимедіапроектора та інших ТЗН; практичні заняття; індивідуальні заняття, самостійна робота студента, робота в Інтернет.

У процесі вивчення дисципліни " Паралельні та розподілені комп'ютерні системи" використовуються наступні засоби оцінювання та методи демонстрування результатів навчання:

- поточні опитування;
- залікове модульне тестування та опитування;

- презентації результатів виконання завдань та досліджень;
- оцінювання результатів КППЗ;
- студентські презентації та виступи на наукових заходах;
- завдання на лабораторному обладнанні;
- ректорська контрольна робота;
- екзамен.

10. Критерії, форми поточного та підсумкового контролю

В процесі вивчення дисципліни " Паралельні та розподілені комп'ютерні системи" використовуються наступні методи оцінювання навчальної роботи студента:

- поточне опитування;
- підсумкове тестування по кожному змістовому модулю;
- ректорська контрольна робота;
- підсумкова оцінка за комплексне практичне індивідуальне завдання;
- підсумковий письмовий екзамен.

Підсумковий бал (за 100-бальною шкалою) з дисципліни "Паралельні та розподілені комп'ютерні системи" визначається як середньозважена величина, в залежності від питомої ваги кожної складової залікового кредиту:

5 семестр

Заліковий модуль 1	Заліковий модуль 2	Заліковий модуль 3	Заліковий модуль 4	Разом
20 %	20 %	20 %	40 %	100%
1. Усне опитування під час заняття (7 тем по 6 балів = 42 балів) 2. Письмова робота = 58 балів	1. Усне опитування під час заняття (6 теми по 5 балів = 30 балів) 2. Письмова робота = 70 балів	1. Написання та захист КППЗ = 80 балів. 2. Виконання завдань під час тренінгу = 20 балів	1. Тестові завдання (25 тестів по 2 бали за тест) – макс. 50 балів 2. Завдання. 1 – макс. 25 балів 3. Завдання. 2 – макс. 25 балів	100

Шкала оцінювання:

За шкалою університету	За національною шкалою	За шкалою ECTS
90-100	Відмінно	A (відмінно)
85-89	Добре	B (дуже добре)
75-84		C (добре)
65-74	Задовільно	D (задовільно)

60-64		Е (достатньо)
35-59	Незадовільно	FX (незадовільно, з можливістю повторного складання)
1-34		F (незадовільно, з обов'язковим повторним курсом)

11. Інструменти, обладнання та програмне забезпечення, використання яких передбачає навчальна дисципліна

№	Найменування	Номер теми
1.	Apache NetBeans, Java	3, 5, 10
2.	OpenMP, C++	10, 11, 13
3.	Hadoop, Linux	9
4.	PHP, javascript	6, 7

Рекомендовні джерела інформації

1. Paul E. McKenney. Is Parallel Programming Hard? If So, What Can You Do About It? / Paul E. McKenney // kernel.org (2021); eBook (Creative Commons Licensed) - 599 pages
2. Вільямс Ентоні Паралельне програмування на C++ в дії. практика розробки багатопотокових програм/Пер. з англ. ДМК Прес – 2016 – 672 с.
3. Michael Voss. Pro TBB: C++ Parallel Programming with Threading Building Blocks. / Michael Voss, Rafael Asenjo, James Reinders // - 2021 - Apress; 1st ed. edition (July 10, 2019); eBook (Open Access Edition) – 820 p.
4. Daniel Kusswurm Modern Parallel Programming with C++ and Assembly Language. 1st Ed. – Apress – pp. 633 – 2022
5. James Reinders. Data Parallel C++: Mastering DPC++ for Programming of Heterogeneous Systems using C++ and SYCL / James Reinders, Ben Ashbaugh, James Brodman, Michael Kinsner, John Pennycook, Xinmin Tian // Apress; 1st ed. edition (November 3, 2020); eBook (Creative Commons Licensed) – 565 p.
6. Wen-Jyi Hwang. Recent Progress in Parallel and Distributed Computing. - IN-TECH (July 19, 2017) – 150p.
7. Ian Foster. Designing and Building Parallel Programs: Concepts and Tools for Parallel Software Engineering. - Pearson; 1st edition (May 24, 2019)
8. Designing Distributed Systems: Patterns and Paradigms for Scalable, Reliable Services 1st Edition. O'Reilly Media – p 166 – 2018
9. Pitsun O. Multi-threaded Parallelization of Automatic Immunohistochemical Image Segmentation. In: Hu, Z., Wang, Y., He, M. (eds) Advances in Intelligent Systems, Computer Science and Digital Economics IV. CSDEIS 2022. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies, vol 158. Springer, Cham
10. Divakar Viswanath. Scientific Programming and Computer Architecture. - The MIT Press (July 28, 2017) - 430 p.
11. Pitsun O. GPU – based biomedical image processing / O. Berezsky, L.

Dubchak, P. Liaschynsky, P. Liaschynsky // Proceedings of XIV International Conference Perspective Technologies and methods in mems design (MEMSTECH 2018) 18-22 April, 2018, Lviv-Polyana, Ukraine, pp. 96-99

12. R. Trobec . Introduction to Parallel Computing: From Algorithms to Programming on State-of-the-Art Platforms - Springer (October 4, 2018) - 270 pages.

13. Pitsun O. MULTI-THREAD PARALLELIZING OF CELL CHARACTERISTICS OF BIOMEDICAL IMAGES. UJIT. 2022; Volume 4, Number 2 : 40-44

14. Java – Multithreading. Електронний ресурс. Режим доступу: https://www.tutorialspoint.com/java/java_multithreading.htm.19.05.2022

15. Laravel AJAX Tutorial Example. Електронний ресурс. Режим доступу: <https://appdividend.com/2018/02/07/laravel-ajax-tutorial-example/>.19.05.2022