

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 ПІГРЕЛЬ

“ ” 2023 р.



РОБОЧА ПРОГРАМА

з дисципліни «Високопродуктивні обчислення»

ступінь вищої освіти – бакалавр

галузь знань – 12 “Інформаційні технології”

спеціальність – 122 „Комп’ютерні науки”

освітньо-професійна програма – „Комп’ютерні науки”

Кафедра інформаційно-обчислювальних систем і управління

Форма навчання	Курс	Семестр	Лекції (год.)	Лабораторні заняття (год.)	ІРС (год.)	Тренінг, КПЗ (год.)	Самост. робота студ. (год.)	Разом (год.)	Екз. (сем.)
Денна	4	7	40	38	5	12	55	150	7
Заочна	4	7, 8	8	4	—	—	138	150	8

Тернопіль – ЗУНУ
2023

21.08.2023

Робоча програма складена на основі освітньо-професійної програми «Комп'ютерні науки» підготовки бакалавра галузі знань 12 «Інформаційні технології» спеціальності 122 «Комп'ютерні науки», затвердженої Вченою радою ЗУНУ (протокол №10 від 24 червня 2020 р).

Робочу програму склав: доцент кафедри ІОСУ, к.т.н. Олександр ОСОЛІНСЬКИЙ

Робоча програма затверджена на засіданні кафедри інформаційно-обчислювальних систем і управління, протокол № 1 від 29 серпня 2023 р.

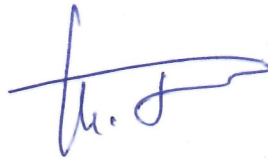
Завідувач кафедри



Мирослав КОМАР

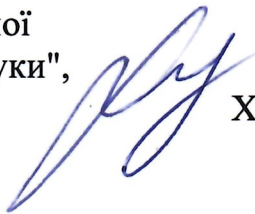
Розглянуто та схвалено групою забезпечення спеціальності „Комп'ютерні науки”, протокол № 1 від 29 серпня 2023 р.

Голова групи
забезпечення спеціальності,
д.т.н., професор



Мирослав КОМАР

Гарант освітньо-професійної
програми "Комп'ютерні науки",
канд. техн. наук, доцент



Христина ЛІП'ЯНІНА-ГОНЧАРЕНКО

СТРУКТУРА РОБОЧОЇ ПРОГРАМИ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ "ВИСОКОПРОДУКТИВНІ ОБЧИСЛЕННЯ"

1. Опис дисципліни "Високопродуктивні обчислення"

Дисципліна «Високопродуктивні обчислення»	Галузь знань, спеціальність, СВО	Характеристика навчальної дисципліни
Кількість кредитів – 5	Галузь знань – 12 “Інформаційні технології”	Статус дисципліни: обов’язкова дисципліна циклу професійної підготовки Мова навчання: Українська
Кількість залікових модулів – 4	Спеціальність – 122 «Комп’ютерні науки»	Рік підготовки: 4 Семестр: <i>Денна – 7</i> <i>Заочна – 7, 8</i>
Кількість змістових модулів – 2	Освітньо- професійна програма «Комп’ютерні науки»	Лекції: <i>Денна – 40 год.</i> <i>Заочна – 8 год.</i> Лабораторні заняття: <i>Денна – 38 год.</i> <i>Заочна – 4 год.</i>
Загальна кількість годин – 150	Ступінь вищої освіти – бакалавр	Самостійна робота: <i>Денна – 55 год.,</i> <i>Заочна – 138 год.</i> Тренінг, КПЗ: <i>Денна – 12 год.</i> Індивідуальна робота: <i>Денна – 5 год.</i>
Тижневих годин – 10, з них аудиторних – 6 год.		Вид підсумкового контролю – екзамен

2. Мета і завдання дисципліни "Високопродуктивні обчислення"

2.1. Мета вивчення дисципліни

Метою дисципліни "Високопродуктивні обчислення" є формування і засвоєння у здобувачів вищої освіти необхідних теоретичних знань про класифікацією високопродуктивних обчислювальних систем, принципів розробки високопродуктивних програм, технологічні засоби паралельного та розподіленого програмування, основні принципи побудови, методи і засоби функціонування високопродуктивних комп'ютерних систем та мереж (ВКС).

2.2. Завдання вивчення дисципліни

Завдання дисципліни "Високопродуктивні обчислення" полягає в опануванні базових принципів функціонування, призначення основних класів сучасних паралельних комп'ютерів, загальну класифікацію обчислювальних систем, архітектуру та принципи функціонування основних високопродуктивних комп'ютерних систем, ознайомлення з моделями програмування в різних класах паралельних комп'ютерів, навчитися здійснювати оцінку продуктивності високопродуктивних комп'ютерів і обчислювальних систем, ефективно використовувати хмарні обчислення для організації високопродуктивних обчислень, здійснювати доступ та приймати участь у проектах по розподілених обчисленнях.

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

СК9. Здатність 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.

СК16. Здатність реалізовувати високопродуктивні обчислення на основі хмарних сервісів і технологій, паралельних і розподілених обчислень при розробці й експлуатації розподілених систем паралельної обробки інформації.

2.4. Передумови для вивчення дисципліни

Вивчення курсу „Високопродуктивні обчислення” передбачає наявність систематичних та ґрунтовних знань із дисципліни «Організація комп'ютерних мереж», «Інтелектуальний аналіз даних», «Методи та системи штучного інтелекту», «Технологія розробки програмного забезпечення».

2.5. Результати навчання

ПР10. Використовувати інструментальні засоби розробки 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.

ПР16. 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.

3. Програма навчальної дисципліни «Високопродуктивні обчислення»

Змістовий модуль 1. Високопродуктивні системи

Тема 1. Базові поняття і класи сучасних ВКС

Високопродуктивні комп'ютерні системи: історія, сфери застосування, класифікація. Загальна класифікація комп'ютерів та її нечіткість. Історія розвитку суперкомп'ютерів. Сфери застосування. Вимоги до суперкомп'ютерів. Класифікація високопродуктивних комп'ютерних систем.

Тема 2. Основні класи паралельних комп'ютерів

Симетричні мультипроцесорні системи (SMP). Масивно-паралельні системи (MPP). Системи з неоднорідним доступом до пам'яті (NUMA). Паралельно-векторні системи (PVP).

Тема 3. Оцінка продуктивності високопродуктивних комп'ютерних систем

Необхідність оцінки продуктивності ВКС. Показники продуктивності ВКС. Основні тестові програми. Список TOP500, критерії ранжування. Характеристика комп'ютера, що займає першу позицію у списку. Чинники, що знижують продуктивність паралельних комп'ютерів. Закон Амдала.

Тема 4. Типи процесорів та їх використання у високопродуктивних комп'ютерних системах

CISC, RISC та MISC процесори. VLIW процесори. Основні тестові програми. Огляд інших відомих процесорів (матричні, суперскалярні, з конвеєрною обробкою, комунікаційні).

Тема 5. Топології зв'язків ВКС та ефективна організація дискових накопичувачів

Компоненти ВКС (АЛП, пам'ять, пристрої вводу-виводу). Топології зв'язків ВКС. Організація дискових накопичувачів.

Тема 6. Архітектура існуючих суперкомп'ютерів

Векторний-конвеєрні суперкомп'ютери (на прикладі CRAY C90). Масивнопаралельні комп'ютери (на прикладі CRAY T3D). Новітні платформи ВКС: суперкомп'ютери на графічних картах GPU (NVidia Tesla M2050). Суперкомп'ютер на GPU картах сімейства Kepler.

Тема 7. Фундаментальні обмеження паралельних обчислень

Проблема когерентності кешу. Недійсні і нові протоколи. Кеш відстеження (відстеження шини). Системи на основі каталогів. Обмеження пропускної спроможності. Обмеження по затримках. Методи обходу обмежень по затримках

Змістовий модуль 2. Енергоємні обчислення, нові напрямки в ВКС, комп'ютерні кластери, мета комп'ютинг та Grid , OpenMP, MPI

Тема 8. Енергоємні обчислення і зв'язок

Методи обробки з врахуванням потужності. Дизайн пам'яті з врахуванням енергоспоживання. Проектування зв'язків з врахуванням енергоспоживання. Управління енергоспоживанням додатків

Тема 9. Сучасний стан нових напрямків в ВКС

Обчислення в петамасштабі. Застосування оптики в паралельних обчисленнях. Квантові комп'ютери. Нано-технології і їх вплив на високопродуктивні обчислення

Тема 10. Комп'ютерні кластери

Кластери, їх призначення та історія створення. Класифікація кластерів. Програмні засоби кластерів та засоби моніторингу функціонування кластерів. Комунікаційне середовище: Ethernet, Myrinet, InfiniBand.

Тема 11. Метакомп'ютинг та Grid-обчислення на основі мережевих технологій

Метакомп'ютинг та концепція Grid. Історія виникнення Grid. Grid у світі. Розвиток концепції Grid.

Тема 12. Паралельне програмування на OpenMP

Робота з потоками. Конструкції розподілення роботи. Планування. Взаємне виключення. Синхронізація і бар'єри

Тема 13. Паралельне програмування з використанням MPI

Модель інтерфейсу передачі повідомлень. Блокуюча та неблокуюча комунікація. Структура програм MPI

Тема 14. Паралельне програмування з використанням GPU

Еволюція графічних процесорів. Вступ до CUDA. Програмна модель CUDA. Апаратна реалізація. Організація потоку даних

Тема 15. Хмарні обчислення та сучасні хмарні платформи

Поняття хмарних обчислень. Технології віртуалізації. Класифікація хмар. Хмарні рішення від Google Cloud Platform, Amazon Web Services. Open Source рішення.

4. Структура залікового кредиту з дисципліни «Високопродуктивні обчислення»

Денна форма навчання

Тема	Кількість годин					
	Лекції	Лаборат. заняття	Індивід. робота	Тренінг, КПЗ	Самостійна робота	Контрольні заходи
Змістовий модуль 1 Високопродуктивні системи						
Тема 1. Базові поняття і класи сучасних ВКС	2	2	-	6	2	Опитування під час заняття
Тема 2. Основні класи паралельних комп'ютерів	2	-	-		4	Опитування під час заняття
Тема 3. Оцінка продуктивності високопродуктивних комп'ютерних систем	2	4	2		4	Опитування під час заняття
Тема 4. Типи процесорів та їх використання у високопродуктивних комп'ютерних системах	4	-	-		4	Опитування під час заняття
Тема 5. Топології зв'язків ВКС та ефективна організація дискових накопичувачів	4	4	-		4	Опитування під час заняття
Тема 6. Архітектура існуючих суперкомп'ютерів	4	4	-		4	Опитування під час заняття
Тема 7. Фундаментальні обмеження паралельних обчислень	2	4	-		4	Опитування під час заняття
Змістовий модуль 2 Енергоємні обчислення, нові напрямки в ВКС, комп'ютерні кластери, метакомп'ютинг та Grid , OpenMP, MPI						
Тема 8. Енергоємні обчислення і зв'язок	2	4	-	6	4	Опитування під час заняття
Тема 9. Сучасний стан нових напрямків в ВКС	2	-	-		4	Опитування під час заняття
Тема 10. Комп'ютерні кластери	4	4	-		4	Опитування під час заняття
Тема 11. Метакомп'ютинг та Grid-обчислення на основі мережевих технологій	2	4	-		3	Опитування під час заняття
Тема 12. Паралельне програмування на OpenMP	4	4	3		4	Опитування під час заняття
Тема 13. Паралельне програмування з використанням MPI	2	2	-		4	Опитування під час заняття
Тема 14. Паралельне програмування з використанням GPU	2	2	-		2	Опитування під час заняття

Тема 15. Хмарні обчислення та сучасні хмарні платформи.	2	-	-		4	Опитування під час заняття
Разом	40	38	5	12	55	

Заочна форма навчання

Тема	Кількість годин			
	Лекції	Лаборат. заняття	Тренінг, КПЗ	Самостійна робота
Змістовий модуль 1 Високопродуктивні системи				
Тема 1. Базові поняття і класи сучасних ВКС	4	2	-	8
Тема 2. Основні класи паралельних комп'ютерів				8
Тема 3. Оцінка продуктивності високопродуктивних комп'ютерних систем				8
Тема 4. Типи процесорів та їх використання у високопродуктивних комп'ютерних системах				10
Тема 5. Топології зв'язків ВКС та ефективна організація дискових накопичувачів				8
Тема 6. Архітектура існуючих суперкомп'ютерів				10
Тема 7. Фундаментальні обмеження паралельних обчислень				10
Змістовий модуль 2 Енергоємні обчислення, нові напрямки в ВКС, комп'ютерні кластери, метакомп'ютинг та Grid , OpenMP, MPI				
Тема 8. Енергоємні обчислення і зв'язок	4	2	-	8
Тема 9. Сучасний стан нових напрямків в ВКС				10
Тема 10. Комп'ютерні Кластери				10
Тема 11. Метакомп'ютинг та Grid-обчислення на основі мережевих технологій				10
Тема 12. Паралельне програмування на OpenMP				10
Тема 13. Паралельне програмування з використанням MPI				10
Тема 14. Паралельне програмування з використанням GPU				10
Тема 15. Хмарні обчислення та сучасні хмарні платформи.				8
Разом	8	4	-	138

5. Тематика лабораторних занять

Лабораторна робота №1.

Тема: Оцінка продуктивності високопродуктивних комп'ютерів і обчислювальних систем Мета. Навчитися здійснювати оцінку продуктивності обчислювальної системи. Ознайомитись із чинниками, що знижують продуктивність паралельних комп'ютерів.

Лабораторна робота №2.

Тема: Roofline Модель та показники ефективності

Мета. Ознайомлення з методом визначення максимальної продуктивності алгоритму з використанням Roofline моделі для аналізу циклів по обчислювальних ресурсів ЦП і пропускної здатності пам'яті.

Лабораторна робота №3.

Тема: Дизайн кешу, взаємне виключення

Мета. Дослідження, як розмір кешу впливає на продуктивність програми. Залежність швидкодії від рівнів кешу. Залежність продуктивності від порядку доступу до елементів.

Лабораторна робота №4.

Тема: Закон Амдала

Мета. Визначення ефективності програми. Встановлення схожості програми через диспетчер завдань у Windows або у Linux.

Лабораторна робота №5.

Тема: Дослідження Earth Simulator.

Мета: Ознайомитися з високопродуктивною обчислювальною системою Earth Simulator та класами задач, які вирішуються з її допомогою. Проаналізувати те, яких успіхів досягнули науковці використовуючи Earth Simulator.

Лабораторна робота №6.

Тема: Проект SETI@Home

Мета: Ознайомитись з існуючими системами метаком'ютингу, орієнтованих на домашніх користувачів. Прийняти участь у проекті по розподіленій обробці даних SETI@Home або інших подібних проектах, надаючи при цьому ресурси свого ПК для виконання задач проекту

Лабораторна робота №7.

Тема: Використання хмарних сервісів для виконання обчислювальних задач

Мета. Ознайомлення з існуючими хмарними сервісами та особливості роботи з ними та виконання складних обчислень.

Лабораторна робота №8.

Тема: Написання паралельних програм з використанням OpenMP

Мета. Компіляція програми для паралельного виконання. Створення потоків: обчислення π паралельно за допомогою `pragma omp parallel`. Обчислення числа π за допомогою критичних секцій і `atomic`. Розподіл завдань між потоками. Паралельний цикл

Лабораторна робота №9.

Тема: Сортування з використанням OpenMP

Мета. Вивчення основних алгоритмів сортування. Використання директив розпаралелення.

Лабораторна робота №10.

Тема: програмування паралельних програм з використанням MPI

Мета. Вивчення можливостей MPI. Інсталяція MPICH2. Виконання програми

MPI. Ініціалізація MPI. Виконання завдання на декількох процесах.

Лабораторна робота №11.

Тема: програмування паралельних програм з використанням GPU

Мета. Інсталяція CUDA. Вивчення можливостей використання потоків на GPU. Обчислення векторів. Комбінування потоків і блоків.

6. Комплексне практичне індивідуальне завдання

Комплексне практичне індивідуальне завдання з дисципліни «Високопродуктивні обчислення» виконується самостійно при консультуванні викладачем протягом вивчення дисципліни відповідно до графіку навчального процесу. Метою виконання КПЗ є систематизація, закріплення, поглиблення знань, оволодіння навичками оцінки продуктивності ВКС, оцінки продуктивності виконання програм, сучасних підходів до високопродуктивних обчислень, метакомп'ютингу, Grid. Засобів паралельного програмування. КПЗ оформляється згідно з встановленими вимогами.

Варіанти КПЗ з дисципліни «Високопродуктивні обчислення»

№ варіанту	Тема дослідження
1.	Алгоритм «бульбашкового» сортування елементів масиву
2.	Алгоритм розрахунку значення функції за її рядом Тейлора
3.	Алгоритм паралельного множення матриць
4.	Алгоритм симплекс-методу розв'язання задачі лінійного програмування
5.	Алгоритм пошуку оберненої матриці
6.	Алгоритм пошуку регресійного рівняння
7.	Алгоритм Дейкстри пошуку найкоротшого шляху
8.	Алгоритм імітації мережі масового обслуговування
9.	Алгоритм пошуку елемента в базі даних
10.	Алгоритм пошуку розв'язку задачі лінійного програмування за симплексметодом
11.	Еволюційний алгоритм пошуку оптимального значення
12.	Розділення завдань між потоками OpenMP
13.	Множення матриць OpenMP
14.	Надсилання та отримання повідомлень за допомогою MPI
15.	Динамічне отримання за допомогою MPI
16.	Коллективні точки зв'язку та синхронізація в MPI
17.	CUDA. Аналіз продуктивності виконання паралельних обчислень
18.	Міжпроцесна взаємодія за допомогою спільної пам'яті
19.	Міжпроцесна взаємодія за допомогою об'єктів FIFO
20.	Міжпроцесна взаємодія за допомогою сокетів домену Unix

7. Самостійна робота

№	Тематика	К-сть год.	
		ДФН	ЗФН
1	Нові парадигми у високопродуктивних обчисленнях.	2	4
2	Великі задачі і великі комп'ютери.	2	4
3	FLOPS, MIPS: переваги і недоліки.	2	4
4	Пікова продуктивність і формат даних.	2	4
5	Рейтинг суперкомп'ютерів СНД – TOP500.	2	4
6	Класифікація Флінна, Хокні, Фенга, Хендлера, Шнайдера, Скилликорна	2	4
7	Моделі програмування, вживані в різних класах паралельних суперкомп'ютерів.	2	6
8	Поняття про сигнальні процесори.	2	6
9	Сучасні процесори з багатоядерною архітектурою	2	6
10	Процесори Intel® Core™ и Intel® Xeon®	2	6
11	Процесори AMD Phenom™ и AMD Opteron™	2	6
12	Векторно-конверсні комп'ютери	2	6
13	Паралельні комп'ютери із загальною пам'яттю	2	6
14	Обчислювальні системи з розподіленою пам'яттю.	2	4
15	Новітні платформи ВКС та їх організація.	2	6
16	Прискорювач ClearSpeed™ Advance™ X620.	2	6
17	Настільний суперкомп'ютер NVIDIA® Tesla™ D870	2	6
18	Сучасні кластерні рішення	2	6
19	Персональні міні-кластери	2	4
20	Кластерні проекти.	2	6
21	Система пакетного розподіленого виконання задач Condor	2	6
22	Тенденції розвитку програмного забезпечення паралельних обчислювальних систем.	2	6
23	Принципи побудови та концепції сучасних систем паралельного програмного забезпечення.	2	6
24	Метакомп'ютинг як велика розподілена система.	2	4
25	Особливості розподілення задач і передачі даних.	2	6
26	Концепція Grid.	2	4
27	Порівняння продуктивності GPU для глибокого навчання між Linux і Windows	3	2
Разом		55	138

8. Тренінг з дисципліни

№ з/п	Вид роботи	Порядок проведення тренінгу
1	Вступна частина	Ознайомлення студентів з темою тренінгового заняття і видача завдання
2	Практична частина	Виконання завдань студентами згідно з індивідуальним завданням; оформлення короткого звіту
3	Підведення підсумків	Презентація результатів виконаних завдань, оцінювання

9. Засоби оцінювання та методи демонстрування результатів навчання

У процесі вивчення дисципліни «Високопродуктивні обчислення» використовуються наступні засоби оцінювання та методи демонстрування результатів навчання:

- поточне тестування та опитування;
- оцінювання результатів лабораторних робіт;
- ректорська контрольна робота;
- оцінювання виконання завдань тренінгу;
- оцінювання результатів КПЗ;
- екзамен.

10. Критерії, форми поточного та підсумкового контролю

Підсумковий бал (за 100-бальною шкалою) з дисципліни «Високопродуктивні обчислення» визначається як середньозважена величина, залежно від питомої ваги кожної складової залікового кредиту:

Заліковий модуль 1	Заліковий модуль 2	Заліковий модуль 3	Екзамен
20 %	20 %	20 %	40 %
1. Виконання та захист лабораторних робіт (5 робіт по 8 балів) – 40 балів 2. Модульна контрольна робота – 60 балів	1. Виконання та захист лабораторних робіт (6 робіт по 5 балів) – 30 балів 2. Ректорська контрольна робота – 70 балів	1. Виконання завдань під час тренінгу – 20 балів 2. Написання та захист КПЗ – 80 балів	1. Тестові завдання (25 тестів по 2 бали) – 50 балів 2. Завдання 1 – 25 балів 3. Завдання 2 – 25 балів

Шкала оцінювання:

За шкалою ЗУНУ	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		E (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.	Мультимедійне обладнання	1-15
2.	Програмний пакет LinPack	1-3
3.	Програмний пакет BOINC	11
4.	Бібліотека компілятора gcc libomp-dev	12
5.	Програмний пакет Open MPI in Ubuntu	13
6.	NVIDIA CUDA Toolkit	14

РЕКОМЕНДОВАНІ ДЖЕРЕЛА ІНФОРМАЦІЇ

1. Dhabaleswar K. Panda, Xiaoyi Lu and Dipti Shankar, High-Performance Big Data Computing, 2022, 272 pp.
2. John Levesque, Gene Wagenbreth, High Performance Computing Programming and Applications, 2018, 244 P. ISBN 9781138372689
3. John Levesque, Aaron Vose, Programming for Hybrid Multi/Manycore MPP Systems, 2020, 341 P. ISBN 9780367572907
4. Robert Robey and Yuliana Zamora, Parallel and High Performance Computing, 2021, 704 P. ISBN 9781617296468
5. Victor Eijkhout with Edmond Chow, Robert van de Geijn, Introduction to High Performance Scientific Computing, 2022, 495 P.
6. High Performance Computing in Science and Engineering '19, 2021. ISBN : 978-3-030-66791-7
7. Masaaki Geshi, The Art of High Performance Computing for Computational Science , Vol. 1, 2019, 222 P.
8. C. Alexandrou, "The LinkSCEEM FP7 Infrastructure Project: Linking Scientific Computing in Europe and the Eastern Mediterranean," in Computing in Science & Engineering, vol. 20, no. 3, pp. 13-20, May./Jun. 2018, doi: 10.1109/MCSE.2018.03221925.
9. S. Ahn, J. Kim, E. Lim and S. Kang, "Soft Memory Box: A Virtual Shared Memory Framework for Fast Deep Neural Network Training in Distributed High Performance Computing," in IEEE Access, vol. 6, pp. 26493-26504, 2018, doi: 10.1109/ACCESS.2018.2834146.
10. S. Caíno-Lores, J. Carretero, B. Nicolae, O. Yildiz and T. Peterka, "Toward HighPerformance Computing and Big Data Analytics Convergence: The Case of Spark-DIY," in IEEE Access, vol. 7, pp. 156929-156955, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2949836.
11. Коцовський В. М. Теорія паралельних обчислень: навчальний посібник.

Ужгород: ПП «АУТДОР-Шарк», 2021. 188 с.

12. Семеренко, В. П. Технології паралельних обчислень : навчальний посібник. – Вінниця : ВНТУ, 2018. – 104 с.

13. Осолінський О.Р. Опорний конспект лекцій з дисципліни «Високопродуктивні обчислення» для студентів спеціальності 122 «Комп'ютерні науки». - Тернопіль: ЗУНУ, 2021. - 90 с.

14. Осолінський О.Р. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Високопродуктивні обчислення» для студентів спеціальності 122 «Комп'ютерні науки». - Тернопіль: ЗУНУ, 2021. - 30 с.

15. OPEN STANDARD FOR PARALLEL PROGRAMMING OF HETEROGENEOUS SYSTEMS //khronos.org [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.khronos.org/api/openssl>

16. Open MPI:Open Source High Performance Computing //open-mpi.org [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://www.open-mpi.org/>

17. Earth Simulator Projects //jamstec.go.jp [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.jamstec.go.jp/es/en/index_proj.html

18. Обчислення для науки //berkeley.edu [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://boinc.berkeley.edu/index.php>