

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**


Кафедра комп'ютерних наук

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Декан факультету інформаційних
технологій
Олена ГЛАЗУНОВА
« 12 » вересня 2023 р.

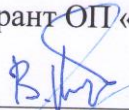


«СХВАЛЕНО»
на засіданні кафедри комп'ютерних наук
Протокол № 12 від «01» 06 2023
р.

Завідувач кафедри
Белла ГОЛУБ



«РОЗГЛЯНУТО»
Гарант ОП «Програмне забезпечення
інформаційних систем»
Віктор КИРИЧЕНКО



**РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ
ВИСОКОПРОДУКТИВНІ КОМП'ЮТЕРНІ СИСТЕМИ**

Спеціальність – 121 «Інженерія програмного забезпечення»

Освітня програма – «Програмне забезпечення інформаційних систем»

Факультет інформаційних технологій

Розробники: професор, д. фіз.-мат.н. Малашонок Г.І. ,
доцент, к. фіз.-мат.н. Лялецький О. В.

Київ 2023

1. ОПИС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

«ВИСОКОПРОДУКТИВНІ КОМП'ЮТЕРНІ СИСТЕМИ»

Галузь знань, спеціальність, освітній ступінь	
Освітній ступінь	Магістр
Спеціальність	121 «Інженерія програмного забезпечення»
Освітня програма	«Програмне забезпечення інформаційних систем»
Характеристика навчальної дисципліни	
Вид	Обов'язкова
Загальна кількість годин	120
Кількість кредитів ECTS	4
Кількість змістових модулів	2
Курсовий проект (робота) <small>(якщо є в робочому навчальному плані)</small>	-
Форма контролю	Іспит
Показники навчальної дисципліни для денної та заочної форм навчання	
	денна форма навчання
Курс (рік підготовки)	1
Семестр	2
Лекційні заняття	30 год
Практичні, семінарські заняття	
Лабораторні заняття	30 год
Самостійна робота	60 год
Індивідуальні завдання	
Кількість тижневих аудиторних Годин для денної форми навчання	12 год

2 Мета та завдання навчальної дисципліни

Метою дисципліни «Високопродуктивні комп'ютерні системи» є вивчення сучасних підходів, методів та технологій високопродуктивних комп'ютерних систем та технологій.

Завдання дисципліни «Високопродуктивні комп'ютерні системи»:

- Ознайомлення з основними поняттями та класифікацією високопродуктивних обчислювальних систем;
- Ознайомлення з основними принципами розробки високопродуктивних програм;
- Оволодіння технологічними засобами паралельного та розподіленого програмування;
- Вивчення та оволодіння механізмів синхронізації та управління процесами при розробці високопродуктивних програм;
- Огляд принципів та патернів побудови високопродуктивних обчислень.

У результаті вивчення навчальної дисципліни «Високопродуктивні комп'ютерні системи» студент повинен

знати:

- *Типи та різновиди архітектур у високопродуктивних комп'ютерних систем;*
- *Основні принципи та підходи розробки високопродуктивних обчислень;*
- *Патерни паралельного та розподіленого програмування;*
- *Методи та засоби дослідження ефективності комп'ютерних обчислень;*
- *Основні технології та технологічні засоби програмування у високопродуктивному середовищі;*

вміти:

- *Проводити аналіз високопродуктивних середовищ та технологій;*
- *Проводити аналіз алгоритмів та обчислень;*
- *Будувати схеми побудови обчислень у високопродуктивному середовищі;*
- *Розробляти програмні застосунки у високопродуктивному середовищі із застосуванням паралельних та розподілених технологічних засобів;*
- *Документувати результати досліджень щодо ефективності високопродуктивних програм.*

Для опанування дисципліни визначенні:

Програмні компетенції:

ЗК1 Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу на основі логічних аргументів та достовірної інформації.

ЗК3 Здатність шляхом самостійного навчання освоїти нові розробки та досягнення в професійній сфері.

ЗК8 Здатність генерувати нові ідеї (креативність).

ФК1 Здатність аналізувати предметні області, формувати, аналізувати та моделювати вимоги до програмного забезпечення.

ФК7 Здатність систематизувати професійні знання щодо створення і супроводження програмного забезпечення.

ФК10 Володіння сучасними методами проектування, експлуатації та супроводу програмних продуктів.

ФК11 Здатність використовувати знання, уміння й навички в галузі інженерії програмного забезпечення.

Програмні результати навчання:

ПРН1 Знати і системно застосовувати методи аналізу та моделювання прикладної області, виявлення інформаційних потреб і збору вихідних даних для проектування програмного забезпечення.

ПРН6 Аналізувати, оцінювати і вибирати методи, сучасні програмно-апаратні інструментальні та обчислювальні засоби, технології, алгоритмічні та програмні рішення для ефективного виконання конкретних виробничих задач з програмної інженерії. ПРН7 Здатність систематизувати професійні знання щодо створення і супроводження програмного забезпечення.

ПРН11 Набувати нові наукові і професійні знання, вдосконалювати навички, прогнозувати розвиток програмних систем та інформаційних технологій.

ПРН17 Проводити теоретичні та експериментальні досліджень щодо тестування, верифікації й валідації програмних продуктів.

ПРН22 Розробляти та впроваджувати нові програмні, архітектурні та алгоритмічні рішення, оцінюючи відповідні критерії якості і ризику впровадження.

3 Програма навчальної дисципліни

Змістовий модуль 1. Високопродуктивні комп'ютерні системи та паралельна обробка інформації. OpenMPI Java та паралельне програмування на OpenMPI Java

Тема 1. Вступ. Різноманітність архітектур високопродуктивних комп'ютерних систем. Паралельна обробка даних в них.

Класифікація архітектур обчислювальних систем з паралельною обробкою даних. Симетрична багатопроцесорна архітектура SMP. Масивно-паралельна архітектура MPP. Гібридна архітектура NUMA. Організація когерентності багаторівневої ієрархічної пам'яті. Паралельна архітектура PVP з векторними процесорами. Кластерна архітектура

Тема 2. Система OpenMPI. Комунікатори, типи даних, ініціалізація і завершення. Блокуючі та неблокуючі засоби комунікації. Основні функції.

Викладаються основні відомості про пакет OpenMPI, починаючи з історії його створення та перших версій пакету, і закінчуючи командами установки і настройки сучасної четвертої версії пакету. Вивчаються структурні компоненти пакета: типи даних, класи, константи. Описуються основні функції, колективні та прості типи команд.

Тема 3. Створення та виконання паралельної програми. Прості приклади.

Вивчається створення паралельних програм, а також вивчаються програма HelloWorld, програми розсилки даних за допомогою одиночних команд посилки і приймання повідомлень, програми посилки і збору даних за допомогою колективних команд gather, scatter, bcast.

Тема 4. Методи збору фрагментів масиву за допомогою процедур allGather і allToAll. Приклади програм.

Вивчається створення паралельних програм з використанням колективних команд посилки і приймання повідомлень: allGather, allToAll, reduce, allReduce, reduceScatter, scan. Вивчається використання команди probe для визначення статусу команди прийому повідомлення.

Змістовий модуль 2. Пакет Math Partner і робота з ним

Тема 5. Бібліотека процедур для пересилання об'єктів і їх масивів.

На прикладах програм з пакету Math Partner вивчаються можливості розсилки і прийому масивів java-об'єктів. Пересилання будь-яких об'єктів між процесорами кластера здійснюється у вигляді байт-масивів, які є результатом процесу серіалізації об'єктів, що передбачений відповідним інтерфейсом java.

Тема 6. Приклади паралельних програм в пакеті Math Partner.

Вивчаються алгоритми матричного множення для суперкомп'ютера. Вивчається схема множення "один-чотири", "один-вісім", програма множення матриці на вектор.

Тема 7. Методи налагодження паралельних програм.

Вивчається налагодження паралельних програм, а також програма простого відладчика і розглядається приклад використання цього відладчика в MPI програмі.

Тема 8. Інструменти Math Partner для обчислень на кластері.

Вивчається процес запуску паралельної програми з графічного додатку. Стандартний процес налагодження та запуску в терміналі є дуже трудомістким. Пакет Math Partner надає можливість запускати виконання паралельної програми безпосередньо командами його мови. Тому далі вивчається взаємодія Math Partner з кластерним пакетом PBS і запуск програми користувача кластера в Math Partner.

4 СТРУКТУРА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин													
	денна форма							Заочна форма						
	тижні	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	14	
Змістовий модуль 1														
Тема 1. Вступ. Різноманітність архітектур високопродуктивних комп'ютерних систем. Паралельна обробка даних в них		8	4				4							
Тема 2. Система OpenMPI. Комуникатори, типи даних, ініціалізація і завершення. Блокуючі та неблокуючі засоби комунікації. Основні функції		13	4		4		7							
Тема 3. Створення та виконання паралельної програми. Прості приклади		18	4		6		8							
Тема 4. Методи збору фрагментів масиву за допомогою процедур allGather і allToAll. Приклади програм		21	4		6		11							
<i>Разом за змістовим модулем 1</i>		52	16		16		30							
Змістовий модуль 2														

Тема 5. Бібліотека процедур для пересилання		14	4		4		6						
об'єктів і їх масивів													
Тема 6. Приклади паралельних програм в пакеті Math Partner		14	4		4		6						
Тема 7. Методи налагодження паралельних програм		12	2		2		8						
Тема 8. Інструменти Math Partner для обчислень на кластері		16	4		4		8						
<i>Разом за змістовим модулем 2</i>		58	14		14		30						
Усього годин		120	30		30		60						

5 Теми семінарських занять

Не передбачені програмою

6 Теми практичних занять

Не передбачені програмою

7 Теми лабораторних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Знайомство, установка та користування Linux, Java	2
2	Знайомство, установка та користування OpenMPI, Math Partner	2
3	Знайомство з принципами управління обчислювальним процесом за допомогою команд протоколу MPI	2
4	Блокуючі і неблокуючі засоби комунікації MPI	2
5	Основні неколективні функції MPI	2
6	Використання колективних функцій MPI bcast (), gather (), gatherv (), scatter (), scatterv ()	2
7	Коллективні функції MPI allGather (), allGatherv (), alltoall(), alltoAllv ()	2
8	Коллективні функції MPI та приклади їх використання: reduce, allReduce, reduceScatter, і scan	2
9	Коллективна робота з кластером на 16 ядер	2

10	Бібліотека процедур для пересилання об'єктів і їх масивів	2
11	Блочне множення матриць на чотирьох процесорах	2
12	Блочне множення матриць на восьми процесорах. Множення на вектор.	2
13	Налагодження паралельних програм	2
14	Взаємодія MathPartner з PBS	2
15	Заключна самостійна робота на кластері	2
Разом		30

8 Теми самостійних робіт

1. Розробити паралельний алгоритм для множення матриць за алгоритмом Штрассена(7 год)
2. Розробити паралельний алгоритм для обчислення розкладання Холецкого (8 год)
3. Розробити паралельний алгоритм для обернення матриць за алгоритмом Штрассена(15 год)
4. Розробити паралельний алгоритм для QR-розкладання матриць за алгоритмом Шенхаге(15 год)
5. Розробити паралельний алгоритм для SVD-розкладання трехдіагональної матриці(15 год)

9 Контрольні питання, комплекти тестів для визначення рівня засвоєння знань студентами

1. Дайте визначення поняттям «високопродуктивні обчислення», «гібридний суперкомп'ютер», «кластер», «багатопроесорні системи».
2. Навести методи дослідження ефективності програмних застосунків.
3. Охарактеризуйте труднощі, що виникають при побудові та функціонуванні паралельних систем на основі спільної пам'яті.
4. Охарактеризуйте високопродуктивні обчислювальні архітектури на основі графічних прискорювачів.
5. Наведіть відмінності багатопроесорних та багатокомп'ютерних високопродуктивних систем.
6. Наведіть методи оцінки прискорення та ефективності паралельних обчислень.
7. Наведіть класифікацію паралельних комп'ютерних систем Флінна.
8. Охарактеризуйте труднощі, що виникають при побудові та функціонуванні паралельних систем на основі спільної пам'яті.

9. Опишіть методи синхронізації, які застосовуються при розробці паралельних програм.

10 Методи навчання

М1. Лекція (проблемна, інтерактивна). М2. Лабораторна робота.
М3. Проблемне навчання. М8. Дослідницький метод.

11 Форми контролю

МК1. Тестування. МК4. Методи усного контролю. МК5. Екзамен.

12 Розподіл балів, які отримують студенти

Поточний контроль				Рейтинг з навчальної роботи $R_{НР}$	Рейтинг з додаткової роботи $R_{ДР}$	Рейтинг штрафний $R_{ШТР}$	Підсумкова атестація (екзамен чи залік)	Загальна кількість балів
Змістовий модуль 1	Змістовий модуль 2	Змістовий модуль 3	Змістовий модуль 4					
0-100	0-100	0-100	0-100	0-70	0-20	0-5	0-30	0-100

Примітки. 1. Відповідно до «Положення про екзамени та заліки у НУБіП України» (наказ про уведення в дію від 26 квітня 2023 р. протокол № 10) ., рейтинг студента з навчальної роботи $R_{НР}$ стосовно вивчення певної дисципліни визначається за формулою

$$R_{НР} = 0,7 \cdot (R^{(1)}_{ЗМ} \cdot K^{(1)}_{ЗМ} + \dots + R^{(n)}_{ЗМ} \cdot K^{(n)}_{ЗМ}) + R_{ДР} - R_{ШТР},$$

де $R^{(1)}_{ЗМ}$ – рейтинг з навчальної роботи за першим змістовим модулем за шкалою; $K^{(n)}_{ЗМ}$ – кількість кредитів ЕCTS, передбачених робочим

n – кількість змістових модулів;

$$K_{ЗМ}^{(1)}, \dots, K_{ЗМ}^{(n)}$$

$K_{ЗМ}^{(1)}, \dots, K_{ЗМ}^{(n)}$ – кількість кредитів ЕCTS, передбачених робочим

навчальним планом для відповідного змістового модуля;

$$K_{Дис} = K^{(1)}_{ЗМ} + \dots + K^{(n)}_{ЗМ} - \text{кількість кредитів ЕCTS, передбачених}$$

робочим навчальним планом для дисципліни у поточному семестрі;

робочим навчальним планом для дисципліни у поточному семестрі;

R_{др} – рейтинг з додаткової роботи;

R_{штр} – рейтинг штрафний.

Наведену формулу можна спростити, якщо прийняти $K^{(1)} = \dots =$

$K^{(n)}$ зм. Тоді вона буде мати вигляд

$$R_{нр} = \frac{0,7 \cdot (R^{(1)}_{зм} + \dots + R^{(n)}_{зм})}{n} + R_{др} - R_{штр}.$$

Рейтинг з додаткової роботи R_{др} додається до **R_{нр}** і не може перевищувати 20 балів. Він визначається лектором і надається студентам рішенням кафедри за виконання робіт, які не передбачені навчальним планом, але сприяють підвищенню рівня знань студентів з дисципліни.

Рейтинг штрафний R_{штр} не перевищує 5 балів і віднімається від **R_{нр}**. Він визначається лектором і вводиться рішенням кафедри для студентів, які матеріал змістового модуля засвоїли невчасно, не дотримувалися графіка роботи, пропускали заняття тощо.

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

Рейтинг здобувача вищої освіти, бали	Оцінка національна за результати складання екзаменів заліків	
	екзаменів	заліків
90-100	відмінно	зараховано
74-89	добре	
60-73	задовільно	
0-59	незадовільно	не зараховано

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

13 Методичне забезпечення

Необхідні матеріали знаходяться в ЕНК за посиланням:

<https://elearn.nubip.edu.ua/course/view.php?id=2932>

14 Рекомендована література

– основна:

- Kirk D.B., Hwu W.-M. Programming Massively Parallel Processors: A Hands-on Approach / D.B. Kirk, W.-M. Hwu. – Tsinghua University Press, Beijing, 2010. – 552 p.

- Wilt N. The CUDA Handbook: A Comprehensive Guide to GPU Programming (2nd Edition) / N. Wilt. – Addison-Wesley, 2018. – 494 p.
- William D. G. Using MPI: Portable Parallel Programming with the Message-passing / D. G. William, E. Lusk, A. Skjellum. – Massachusetts institute of technology, 1999. – 377 p.

– допоміжна:

- Hanay Y. High-Performance Implementation of in-Network Traffic Pacing / Y. Hanay, A. Dwaraki, T. Wolf // 2011 IEEE 12th International Conference on High Performance Switching and Routing (HPSR). – 2011. – P. 9–15.
- Kandalla K. Designing Topology-aware Collective Communication Algorithms for Large Scale Infiniband Clusters: Case Studies with Scatter and Gather / K. Kandalla, H. Subramoni, A. Vishnu, D.K. Panda // 2010 IEEE International Symposium on Parallel & Distributed Processing, Workshops and Phd Forum (IPDPSW). – 2010. – P. 1–8.
- Kawai E. Can SDN Help HPC? / E. Kawai // 2012 IEEE/IPSJ 12th International Symposium on Applications and the Internet (SAINT). – 2012. – P. 210–210.

15 Інформаційні ресурси

1. ЕНК за посиланням:
<https://elearn.nubip.edu.ua/course/view.php?id=2932>
2. Суперкомп'ютери ИК НАН Украины. [Електронний ресурс], режим доступу: <http://icybcluster.org.ua>.
3. MPICH: High-Performance Portable MPI [Електронний ресурс], режим доступу: <http://www.mpich.org>