

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**Львівський національний університет імені Івана Франка**  
**Факультет прикладної математики та інформатики**  
**Кафедра прикладної математики**

**Затверджено**

На засіданні  
кафедри прикладної математики  
факультету прикладної математики та  
інформатики  
Львівського національного університету  
імені Івана Франка  
(протокол № \_\_\_\_ від \_\_\_\_\_ 2023\_\_ р.)

Завідувач кафедри Ящук Ю.О.

---

**Силабус з навчальної дисципліни**  
**“Паралельні та розподілені обчислення”,**  
**що викладається в межах ОПП “Прикладна математика”**  
**першого (бакалаврського) рівня вищої освіти для здобувачів з**  
**спеціальності 113 – прикладна математика**

Львів 2023 р.

<b>Назва дисципліни</b>	<b>Паралельні та розподілені обчислення</b>
<b>Адреса викладання дисципліни</b>	Головний корпус ЛНУ ім. І. Франка м. Львів, вул. Університетська 1
<b>Факультет та кафедра, за якою закріплена дисципліна</b>	Факультет прикладної математики та інформатики Кафедра прикладної математики
<b>Галузь знань, шифр та назва спеціальності</b>	11 – математика та статистика 113 – прикладна математика
<b>Викладачі дисципліни</b>	Макар Ігор Григорович, кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри прикладної математики, Переймибіда Андрій Андрійович, кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри прикладної математики
<b>Контактна інформація викладачів</b>	<a href="mailto:igor.makar@lnu.edu.ua">igor.makar@lnu.edu.ua</a> ; <a href="https://ami.lnu.edu.ua/employee/makar-i-h-andrii.pereimybida@lnu.edu.ua">https://ami.lnu.edu.ua/employee/makar-i-h-andrii.pereimybida@lnu.edu.ua</a> ; <a href="https://ami.lnu.edu.ua/employee/pereimybida-andriy-andriyovych">https://ami.lnu.edu.ua/employee/pereimybida-andriy-andriyovych</a> Головний корпус ЛНУ ім. І. Франка, каб. 378. м. Львів, вул. Університетська, 1
<b>Консультації з питань навчання по дисципліні відбуваються</b>	Консультації в день проведення лекцій/лабораторних/семінарських занять (за попередньою домовленістю).
<b>Сторінка курсу</b>	<a href="https://ami.lnu.edu.ua/course/paralelni-i-rozpodileni-obchyslennia-pm">https://ami.lnu.edu.ua/course/paralelni-i-rozpodileni-obchyslennia-pm</a>
<b>Інформація про дисципліну</b>	Дисципліна “Паралельні та розподілені обчислення” є дисципліною на вибір зі спеціальності 113 – прикладна математика для освітньої програми “Прикладна математика”, яка викладається в 2-му семестрі в обсязі 2-ох кредитів (за Європейською Кредитно-Трансферною Системою ECTS).
<b>Коротка анотація дисципліни</b>	Курс “Паралельні та розподілені обчислення” присвячено проектуванню та розробці відмовостійких та масштабованих систем, що піддаються високим навантаженням. Розглянуто практичні підходи до ефективного розпаралелення обчислювально складних задач. Основна увага зосереджується на розробці архітектури та практичних аспектах побудови розподілених систем за використанні сучасних засобів та технологій. Викладення матеріалу здійснюється за допомогою сучасних термінів та понять з галузі інформаційних технологій.
<b>Мета та цілі дисципліни</b>	<b>Метою</b> курсу є ґрунтовне ознайомлення студентів із основними підходами до проектування високопродуктивних розподілених систем, які легко масштабуються, стійкі до відмов та розгортаються у сучасні хмарні сервіси. <b>Завданням</b> вивчення навчальної дисципліни є здобуття студентами практичних навичок проектування та розробки високонавантажених розподілених систем за допомогою сучасних засобів і технологій.
<b>Література для вивчення дисципліни</b>	<b>Книги і статті</b> 1. Martin Klepmann Designing Data-Intensive Applications: The Big Ideas Behind Reliable, Scalable, and Maintainable Systems, O'Reilly, 2017. – 611p.

	<p>2. Martin Fowler Patterns of Enterprise Application Architecture. Addison Wesley, 2002, ISBN: 978-0-321-12742-6</p> <p>3. Unmesh Joshi Patterns of Distributed Systems, Addison-Wesley Professional, 2023. – 416p.</p> <p>4. Jake Brutlag Speed Matters for Google Web Search, googlesearch.blogspot.co.uk, June 22, 2009</p> <p>5. Andre Medeiros ZooKeeper’s atomic broadcast protocol: Theory and practice, 2012  <a href="http://www.tcs.hut.fi/Studies/T-79.5001/reports/2012-deSouzaMedeiros.pdf">http://www.tcs.hut.fi/Studies/T-79.5001/reports/2012-deSouzaMedeiros.pdf</a></p> <p style="text-align: center;"><b>Основні онлайн ресурси</b></p> <p>6. Michael Pogrebinsky Distributed Systems &amp; Cloud Computing with Java, Udemy Course, <a href="https://www.udemy.com/course/distributed-systems-cloud-computing-with-java/">https://www.udemy.com/course/distributed-systems-cloud-computing-with-java/</a></p> <p>7. Martin Klepmann Lecture Series at University of Cambridge:  <a href="https://www.youtube.com/playlist?list=PLeKd45zvjcDFUEv_ohr_HdUFe97RItdiB">https://www.youtube.com/playlist?list=PLeKd45zvjcDFUEv_ohr_HdUFe97RItdiB</a></p> <p>8. Michael Pogrebinsky The Complete Cloud Computing Software Architecture Patterns, <a href="https://everymatrix.udemy.com/course/the-complete-cloud-computing-software-architecture-patterns/">https://everymatrix.udemy.com/course/the-complete-cloud-computing-software-architecture-patterns/</a></p> <p style="text-align: center;"><b>Додаткові онлайн ресурси</b></p> <p>9. MIT Course materials 6.824 Distributed Systems (Spring 2020), <a href="https://www.classcentral.com/course/youtube-mit-6-824-distributed-systems-spring-2020-53357/classroom">https://www.classcentral.com/course/youtube-mit-6-824-distributed-systems-spring-2020-53357/classroom</a></p> <p>10. Vivek Sarkar Distributed Programming in Java, Coursera Course, <a href="https://www.coursera.org/learn/distributed-programming-in-java?specialization=pcdp">https://www.coursera.org/learn/distributed-programming-in-java?specialization=pcdp</a></p> <p>11. Lukasz Antoniak Building Modern Distributed Systems with Java, Udemy Course,  <a href="https://www.udemy.com/course/building-modern-distributed-systems-with-java/">https://www.udemy.com/course/building-modern-distributed-systems-with-java/</a></p>
<b>Обсяг курсу</b>	Аудиторних занять: 56 год., з них 28 години лекцій та 28 години лабораторних робіт.
<b>Очікувані результати навчання</b>	<p>Після завершення цього курсу студент буде:</p> <p><b>Знати:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Властивості розподілених систем;</li> <li>- Практичні аспекти проектування розподілених систем та паралельного опрацювання великих обсягів даних і обчислювально складних задач;</li> </ul> <p><b>Вміти:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Розробляти масштабовані та стійкі до відмов розподілені системи “з нуля” із використанням сучасних фреймворків та технологій.</li> </ul>
<b>Ключові слова</b>	Розподілені системи, паралелізм, distributed systems, zookeeper, kafka, java, azure cloud.
<b>Формат курсу</b>	Очний. Проведення лекцій, семінарів, лабораторних робіт і консультацій.
<b>Теми</b>	Подано нижче у таблиці Схема курсу “Паралельні та розподілені обчислення”

<b>Підсумковий контроль, форма</b>	Залік
<b>Пререквізити</b>	<p>У курсі розглядаються всі необхідні теми для успішного виконання індивідуальних завдань, однак для кращого засвоєння матеріалу студенти потребують знань з:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Основ програмування;</li> <li>- Основ мережних технологій;</li> <li>- Основ баз даних;</li> <li>- Практичні навички програмування на Java або іншій мові високого рівня.</li> </ul> <p>Для розгортання сервісів у хмарні сервіси потрібно мати активну підписку Microsoft Azure, GCP чи AWS.</p>
<b>Навчальні методи та техніки, які будуть використовуватися під час викладання курсу</b>	Презентації, лекції, семінари. Домашні та індивідуальні завдання
<b>Необхідне обладнання</b>	Комп'ютер із програмним забезпеченням: java (python, .net), IDE (IntelliJ тощо), docker. Права доступу для інсталювання програм на комп'ютері чи, альтернативно, можливість працювати на віртуальній машині чи у Docker.
<b>Критерії оцінювання (окремо для кожного виду навчальної діяльності)</b>	<p>Оцінювання проводиться за 100-бальною шкалою. Бали нараховуються за наступним співвідношенням:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• домашні завдання : 20% семестрової оцінки; максимальна кількість балів 20 (4 завдання по 5 балів);</li> <li>• індивідуальні завдання : 80% семестрової оцінки; максимальна кількість балів 80 (2 індивідуальні проекти по 40 балів);</li> </ul> <p>Загалом протягом семестру 100 балів.</p> <p><b>Академічна доброчесність:</b> Очікується, що роботи студентів будуть їх оригінальними дослідженнями чи міркуваннями. Відсутність посилань на використані джерела, фабрикування джерел, списування, втручання в роботу інших студентів становлять, але не обмежують, приклади можливої академічної недоброчесності. Виявлення ознак академічної недоброчесності в письмовій роботі студента є підставою для її незарахування викладачем, незалежно від масштабів плагіату чи обману.</p> <p><b>Відвідання занять</b> є важливою складовою навчання. Очікується, що всі студенти відвідають усі лекції та лабораторні заняття курсу, якщо інше не регламентується правилами узгодженими з деканатом факультету прикладної математики та інформатики. Студенти повинні інформувати викладача про неможливість відвідати заняття. У будь-якому випадку студенти зобов'язані дотримуватися термінів визначених для виконання домашніх та індивідуальних завдань, передбачених курсом.</p> <p><b>Література.</b> Уся література, яку студенти не зможуть знайти самостійно, буде надана викладачем виключно в освітніх цілях без права її передачі третім особам. Студенти заохочуються до використання також й іншої літератури та джерел, яких немає серед рекомендованих.</p>
<b>Опитування</b>	Оцінювання якості курсу буде доступне у системі "Dekanat" після завершенню курсу.

Схема курсу “Паралельні та розподілені обчислення”

Тиж.	Тема, план, короткі тези	Форма діяльності (заняття)	Література, Ресурси в інтернеті	К-сть год.
1	<b>Тема 1.</b> Вступ ( <i>Означення, властивості розподілених систем. Переваги, недоліки та практичні аспекти реалізації. Огляд архітектури сучасних розподілених систем</i> )	Лекція	[1-11]	2
	<b>Тема 1.</b> Формулювання процесу роботи над індивідуальними і практичними завданнями, процедури задачі	Лабораторна		2
2	<b>Тема 2.</b> Розробка системи для розподіленого пошуку: аналіз послідовної версії алгоритму пошуку TF-IDF	Лекція	[4, 6]	2
	<b>Тема 2.</b> Розробка системи для розподіленого пошуку: реалізація послідовної версії алгоритму пошуку TF-IDF	Лабораторна	[4, 6]	2
3	<b>Тема 3.</b> Координація сервісів в кластері. Алгоритм обрання лідера і його реалізація. Архітектура координатор-працівник (a master-worker architecture)	Лекція	[6]	2
	<b>Тема 3.</b> Реалізація координації в кластері з використанням Apache Zookeeper. Інсталяція і налаштування Zookeeper, використання zCli і java API. Огляд альтернатив	Лабораторна	[ 5, 6]	2
4	<b>Тема 4.</b> Реєстр і виявлення сервісів в кластері (a service registry and discovery)	Лекція	[1,6]	2
	<b>Тема 4</b> Реалізація реєстру і виявлення сервісів на основі Apache Zookeeper	Лабораторна	[6]	2
5	<b>Тема 5.</b> Аспекти мережної комунікації в розподілених систем	Лекція	[1], [3]	2
	<b>Тема 5.</b> Реалізація http сервера і клієнта	Лабораторна	[6]	2
6	<b>Тема 6.</b> Балансування навантаження при розробці веб сервісів (Load Balancers)	Лекція	[1], [6]	2
	<b>Тема 6.</b> Балансування навантаження на прикладі HA Proxy	Лабораторна	[3], [7], [11]	2
7	<b>Тема 7.</b> Огляд хмарних технологій.	Лекція	[10]	2
	<b>Тема 7.</b> Приклад розгортання веб сервіса в Microsoft Azure.	Лабораторна	[1, 6]	2
8	<b>Тема 8.</b> Розробка системи для розподіленого пошуку: розпаралелення алгоритму пошуку TF-IDF	Лекція,	[6]	2

	<b>Тема 8.</b> Розробка системи для розподіленого пошуку: реалізація версії алгоритму пошуку TF-IDF із розпаралеленням у кластері. Взаємодія вузлів у кластері	Лабораторна	[6]	2
9	<b>Тема 9.</b> Аналіз архітектури системи розподіленого пошуку: компоненти розподіленої системи і протоколи взаємодії	Лекція	[6]	2
	<b>Тема 9.</b> Розробка і функціональне тестування системи розподіленого пошуку в документах. Комунікація між фронтендом і кластером	Лабораторна	[6]	2
10	<b>Тема 10.</b> Методи Монте-Карло і паралельні алгоритми реалізації	Лекція	[1, 6]	2
	<b>Тема 10.</b> Реалізація розподіленої системи для розпаралелення методів інтегрування Монте-Карло (або розробка розподіленої системи для вирішення іншого завдання, за умови узгодження з викладачем) <i>(Індивідуальне завдання №1)</i>	Лабораторна	[1-6]	2
11	<b>Тема 11.</b> Презентації та оцінювання <i>Індивідуального завдання №1</i>	Заняття у форматі семінару		2
	<b>Тема 11.</b> Презентації та оцінювання <i>Індивідуального завдання №1</i>	Заняття у форматі семінару		2
12	<b>Тема 12.</b> Розподілене зберігання даних. Шардинг даних (data sharding). Узгодження хешування (consistent hashing). Реплікація даних у розподілених БД	Лекція	[1-8]	2
	<b>Тема 12.</b> Інсталяція та демонстрація особливостей MongoDB. Масштабування MongoDB	Лабораторна	[1, 6]	2
13	<b>Тема 13.</b> Брокери повідомлень (Message Brokers). Огляд Apache Kafka	Лекція	[1-6]	2
	<b>Тема 13.</b> Інсталяція і налаштування Apache Kafka. Розробка консюмера і продюсера із використанням Java API <i>(Формулювання індивідуального завдання №2: розробка розподіленої банківської системи)</i>	Лабораторна	[1-6]	2
14	<b>Тема 14.</b> Обговорення і консультування щодо <i>Індивідуального завдання № 2</i>	Заняття у форматі семінару		2
	<b>Тема 14.</b> Студентські презентації та оцінювання <i>Індивідуального завдання №2.</i> Підсумки	Заняття у форматі семінару		2