

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

**Затверджено**

На засіданні  
кафедри інформаційних систем  
факультету прикладної математики та  
інформатики  
Львівського національного університету  
імені Івана Франка  
(протокол № 1 від 08.09.2025 р.)



В.о. завідувача кафедри

Віталій ГОРЛАЧ

**Силабус з навчальної дисципліни**  
**“Паралельні алгоритми: побудова та аналіз”,**  
**що викладається в межах ОПІ Інформатика**  
**другого (магістерського) рівня вищої освіти для здобувачів з**  
**спеціальності 122 – комп’ютерні науки**

Львів 2025 р.

<b>Назва дисципліни</b>	Паралельні алгоритми: побудова та аналіз
<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 інформаційних систем
<b>Галузь знань, шифр та назва спеціальності</b>	12 – інформаційні технології 122 – комп'ютерні науки
<b>Викладачі дисципліни</b>	Яджак Михайло Степанович, професор кафедри інформаційних систем, доктор фіз.-мат. наук (лекції та лабораторні заняття)
<b>Контактна інформація викладачів</b>	mykhailo.yadzhak@lnu.edu.ua; yadzhak_ms@ukr.net. Головний корпус ЛНУ ім. І. Франка, каб. 260 м. Львів, вул. Університетська, 1
<b>Консультації з питань навчання по дисципліні відбуваються</b>	Консультації в день проведення лекцій/лабораторних занять (за попередньою домовленістю)
<b>Сторінка курсу</b>	<a href="https://ami.lnu.edu.ua/course/paralelni-alhorytmy-pobudova-ta-analiz">https://ami.lnu.edu.ua/course/paralelni-alhorytmy-pobudova-ta-analiz</a>
<b>Інформація про дисципліну</b>	Дисципліна «Паралельні алгоритми: побудова та аналіз» є вибірковою дисципліною з спеціальності 122 – комп'ютерні науки для освітньої програми Інформатика, яка викладається в 2-му семестрі в обсязі 4,5-х кредитів (за Європейською Кредитно-Трансферною Системою ECTS).
<b>Мета та цілі дисципліни</b>	Метою вивчення вибіркової дисципліни «Паралельні алгоритми: побудова та аналіз» є одержання студентами знань і навичок, які потрібні для побудови ефективних паралельних алгоритмів розв'язання алгоритмічно складних задач на сучасних обчислювальних засобах – багатоядерних комп'ютерах і кластерах. Завданням вивчення дисципліни є формування у студентів теоретичних знань і практичних навичок для побудови та дослідження паралельних алгоритмів розв'язання алгоритмічно складних задач; навчання студентів здійснювати оптимізацію паралельних алгоритмів за швидкодією, використанням пам'яті та обсягом необхідного обладнання, розробляти паралельні алгоритми, орієнтовані на реалізацію на обчислювальних засобах нетрадиційної архітектури.
<b>Коротка анотація дисципліни</b>	Навчальну дисципліну розроблено таким чином, щоб ознайомити студентів з основними положеннями теорії паралельних обчислень, необхідними для розробки та дослідження паралельних алгоритмів з використанням сучасних апаратних та програмних засобів. Тому в дисципліні подано як основні методи розпаралелювання обчислень, так і показано їх застосування під час розв'язання конкретних обчислювальних задач. У курсі також розглядаються деякі обчислювальні системи нетрадиційної архітектури (систолічні масиви, квазісистолічні структури, системи зі структурно-процедурною організацією обчислень, нейрокомп'ютери, машини потоків даних).

<p><b>Література для вивчення дисципліни</b></p>	<p>Основна література.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Коцовський В.М. Теорія паралельних обчислень. – Ужгород: ПП «АУТДОР–Шарк», 2021. – 188 с.</li> <li>2. Яджак М. С. Паралельні методи та алгоритми розв’язання задач цифрової фільтрації масивів даних // Фізико-математичне моделювання та інформаційні технології. – 2022. – Вип. 34–35. – С. 77–83.</li> <li>3. Вдович Р., Яджак М. Аналіз реалізації паралельних алгоритмів цифрової фільтрації великих масивів спотворених даних // Фізико-математичне моделювання та інформаційні технології.–2025.–Вип.40.–С. 47–52.</li> <li>4. Rauber T., Runger G. Parallel Programming Models. In: Parallel Programming. Springer, Cham, 2023. <a href="https://doi.org/10.1007/978-3-031-28924-8_3">https://doi.org/10.1007/978-3-031-28924-8_3</a>.</li> <li>5. Yadzhak M.S. Parallel algorithms for data digital filtering // <u>Cybernetics and Systems Analysis</u>. – 2023. – Vol. 59, N 1. – P. 39–48.</li> </ol> <p>Додаткова література.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>6. Качко О.Г. Паралельне програмування.– Харків: ХНУРЕ, 2016.– 403 с.</li> <li>7. Поліщук О. Д., Яджак М. С. Моделі та методи комплексного дослідження складних мережевих систем та міжсистемних взаємодій. – Львів: Інститут прикладних проблем механіки і математики ім. Я. С. Підстригача НАН України, 2023. – 385 с.</li> <li>8. Яджак М. Використання задач та алгоритмів цифрової фільтрації для викладання основ паралельного програмування // Матер. 11-ї міжнар. наук. конф. «Математичні проблеми механіки неоднорідних структур», 24–26 вересня 2024 р., м. Львів. – С. 211–212.</li> <li>9. Dongarra J., Abalenkovs M., Abdelfattah A., Gates M., Haidar A., Kurzak J., Luszczek P., Tomov S., Yamazaki I. &amp; YarKhan A. Parallel Programming Models for Dense Linear Algebra on Heterogeneous Systems // Supercomputing Frontiers and Innovations. – 2016. – 2(4). P. 67–86. <a href="https://doi.org/10.14529/jsfi150405">https://doi.org/10.14529/jsfi150405</a>.</li> </ol>
<p><b>Обсяг курсу</b></p>	<p>Загальний обсяг: 135 годин. Аудиторних занять: 48 год., з них 16 год. лекцій та 32 години лабораторних занять. Самостійної роботи: 87 год.</p>
<p><b>Очікувані результати навчання</b></p>	<p>Після завершення цього курсу студент буде :</p> <p>знати:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- основні поняття теорії паралельних алгоритмів;</li> <li>- особливості комунікаційного середовища паралельної обчислювальної системи;</li> <li>- основні методи синтезу паралельних алгоритмів;</li> <li>- паралельні алгоритми для розв’язання задач цифрової фільтрації, що використовують синхронну та асинхронну схеми обчислень;</li> <li>- паралельні алгоритми для розв’язання алгоритмічно складних задач лінійної алгебри;</li> <li>- систолічні алгоритми фільтрації даних;</li> <li>- деякі паралельні алгоритми опрацювання зображень;</li> <li>- паралельні обчислювальні системи нетрадиційної архітектури (систолічні, квазісистолічні, зі структурно-процедурною організацією обчислень, потоків даних, нейромереві);</li> </ul> <p>вміти:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- знаходити середній ступінь паралелізму числового алгоритму;</li> <li>- будувати алгоритми з обмеженим паралелізмом та автономними гілками;</li> <li>- будувати і оцінювати систолічні та квазісистолічні алгоритми обчи-</li> </ul>

	<p>слень;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- знаходити прискорення та ефективність паралельного алгоритму;</li> <li>- порівнювати паралельні алгоритми за швидкістю;</li> <li>- оптимізувати систолічні масиви.</li> </ul> <p>Курс забезпечує набуття таких компетентностей: ІК, ЗК 1, ЗК 2, ЗК 5, ЗК 7, СК 1, СК 3, СК 5, СК 6, СК 7, СК 12 та програмних результатів навчання: ПРН 1, ПРН 5, ПРН 10, ПРН 11, ПРН 16, ПРН 17.</p>																																										
<b>Ключові слова</b>	Паралельний алгоритм, прискорення обчислень, конвеєризація, систолічні масиви, квазісистолічні системи, ефективність паралельного алгоритму, нейронні мережі, обмежений паралелізм, цифрова фільтрація даних.																																										
<b>Формат курсу</b>	Очний. Проведення лекцій, лабораторних занять і консультацій.																																										
<b>Теми</b>	Теми подані по схемі курсу нижче.																																										
<b>Підсумковий контроль, форма</b>	Залік у кінці другого семестру у формі усного опитування.																																										
<b>Пререквізити</b>	Для вивчення дисципліни студенти потребують базових знань з курсів «Методи комп'ютерних обчислень», «Програмування», «Теорія алгоритмів», «Дискретна математика».																																										
<b>Навчальні методи та техніки, які будуть використовуватися під час викладання курсу</b>	Презентації, лекції, модульний контроль. Індивідуальні завдання.																																										
<b>Необхідне обладнання</b>	Багатоядерний комп'ютер, ОС Microsoft Windows XP/7/10/11, офісні пакети MS Office 365 і LibreOffice, пакет «Деканат», програми Zoom і MS Teams.																																										
<b>Критерії оцінювання (окремо для кожного виду навчальної діяльності)</b>	<p>Оцінювання проводиться за 100-бальною шкалою.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Оцінка за шкалою ECTS</th> <th rowspan="2">Оцінка в балах</th> <th colspan="2">Оцінка за національною шкалою</th> <th rowspan="2">залік</th> </tr> <tr> <th></th> <th></th> <th colspan="2">Екзамен, диференційований залік</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>Відмінно</td> <td>100 - 90</td> <td>Відмінно</td> <td>5</td> <td rowspan="4">зараховано</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>Дуже добре</td> <td>81 - 89</td> <td>Добре</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>Добре</td> <td>71 - 80</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>Задовільно</td> <td>61 - 70</td> <td>Задовільно</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>E</td> <td>Достатньо</td> <td>51 - 60</td> <td></td> <td></td> <td rowspan="2">не зараховано</td> </tr> <tr> <td>FX (F)</td> <td>Незадовільно</td> <td>0 - 50</td> <td>Незадовільно</td> <td>2</td> </tr> </tbody> </table>	Оцінка за шкалою ECTS		Оцінка в балах	Оцінка за національною шкалою		залік			Екзамен, диференційований залік		A	Відмінно	100 - 90	Відмінно	5	зараховано	B	Дуже добре	81 - 89	Добре	4	C	Добре	71 - 80			D	Задовільно	61 - 70	Задовільно	3	E	Достатньо	51 - 60			не зараховано	FX (F)	Незадовільно	0 - 50	Незадовільно	2
Оцінка за шкалою ECTS		Оцінка в балах	Оцінка за національною шкалою		залік																																						
			Екзамен, диференційований залік																																								
A	Відмінно	100 - 90	Відмінно	5	зараховано																																						
B	Дуже добре	81 - 89	Добре	4																																							
C	Добре	71 - 80																																									
D	Задовільно	61 - 70	Задовільно	3																																							
E	Достатньо	51 - 60			не зараховано																																						
FX (F)	Незадовільно	0 - 50	Незадовільно	2																																							

Оцінювання знань студентів проводиться протягом семестру за такими видами робіт:  
 індивідуальні завдання (20 % семестрової оцінки, максимальна кількість балів 20) – завдання № 1-2 по 10 балів за кожне;  
 контрольні роботи (50 % семестрової оцінки, максимальна кількість балів 50) – дві роботи по 25 балів за кожну;  
 опитування на лабораторних заняттях (30 % семестрової оцінки, максимальна кількість балів 30).

**Критерії оцінювання індивідуальних завдань № 1-2:**

№ 1-2 (10балів)	Критерії оцінювання
<b>10 балів</b>	студент повністю виконав умови завдання, алгоритм реалізовано правильно, відповідає на всі запитання, пов'язані з тематикою завдання; проводить чіткий аналіз та порівняння отриманих результатів;
<b>8-9 балів</b>	студент повністю виконав умови завдання, алгоритм реалізовано правильно, на деякі запитання, пов'язані з тематикою завдання, відповідає з незначними неточностями; проводить аналіз отриманих результатів з незначними неточностями;
<b>6-7 балів</b>	студент виконав завдання з незначними помилками, але самостійно їх виправляє, якщо на них вкаже викладач; на деякі запитання, пов'язані з тематикою завдання, відповідає з неточностями; проводить аналіз отриманих результатів з неточностями;
<b>4-5 балів</b>	студент виконав завдання частково, алгоритм реалізовано з помилками, які частково може виправити, якщо на них вкаже викладач; на запитання відповідає з помилками, проводить аналіз отриманих результатів з помилками;
<b>1-3 бали</b>	студент виконав завдання частково або з грубими помилками, які самостійно не може виправити, переважно не відповідає на запитання;
<b>0 балів</b>	студент не виконав завдання.

**Критерії оцінювання контрольних робіт №1-2 (кожна містить 3 завдання: 2 – на 8 б. та 1 – на 9 б.):**

**завдання на 8 б.:**

- 8 б. – завдання виконане правильно;
- 5-7 б. – завдання виконане з незначними помилками на кінцевому етапі;
- 1-4 б. – завдання виконане частково або з грубими помилками;
- 0 б. – завдання не виконане;

**завдання на 9 б.:**

- 9 б. – завдання виконане правильно;
- 6-8 б. – завдання виконане з незначними помилками на кінцевому етапі;
- 3-5 б. – завдання виконане частково або з помилками;
- 1-2 б. – завдання виконане частково та з грубими помилками;
- 0 б. – завдання не виконане.

	<p><b>Критерії оцінювання результатів опитування на лабораторних заняттях</b> (за семестр 6 запитань по 5 балів кожне):</p> <p><b>запитання на 5 балів:</b></p> <p>5 б. – відповідь на запитання чітка і правильна;</p> <p>4 б. – відповідь має окремі неточності;</p> <p>3 б. – відповідь на запитання не повна або має помилки;</p> <p>2 б. – відповідь з грубими помилками;</p> <p>1 б. – відповідь не зовсім стосується поставленого запитання;</p> <p>0 б. – студент не відповідає на запитання.</p> <p>Загалом протягом семестру 100 балів.</p> <p><b>Письмові роботи:</b> Очікується, що студенти виконають чотири письмові роботи (два індивідуальні завдання та дві контрольні роботи).</p> <p><b>Академічна добросовісність:</b> Очікується, що роботи студентів будуть їх оригінальними дослідженнями чи міркуваннями. Відсутність посилань на використані джерела, фабрикавання джерел, списування, втручання в роботу інших студентів становлять, але не обмежують, приклади можливої академічної недобросовісності. Виявлення ознак академічної недобросовісності 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 практичні заняття курсу. Студенти повинні інформувати викладача про неможливість відвідати заняття. У будь-якому випадку студенти зобов'язані дотримуватися термінів, визначених для виконання всіх видів письмових робіт 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> <p><b>Політика виставлення балів.</b> Враховуються бали набрані при поточному тестуванні, самостійній роботі та бали підсумкового тестування. При цьому обов'язково враховуються присутність на заняттях та активність студента під час практичного заняття; недопустимість пропусків та запізнь на заняття; користування мобільним телефоном, планшетом чи іншими мобільними пристроями під час заняття в цілях, не пов'язаних з навчанням; списування та плагіат; несвоєчасне виконання поставленого завдання і т. ін.</p> <p>Жодні форми порушення академічної добросовісності не толеруються.</p>
<p><b>Питання до заліку.</b></p>	<p>Поняття паралельного алгоритму.</p> <p>Паралельно-конвеєрне опрацювання інформації. Оцінка прискорення обчислень.</p> <p>Автономні та зв'язані гілки паралельного алгоритму.</p> <p>Синхронна та асинхронна схеми обчислень.</p> <p>Ступінь паралелізму алгоритму.</p> <p>Прискорення та ефективність паралельного алгоритму.</p> <p>Основні компоненти комунікаційного середовища паралельної обчислювальної системи.</p> <p>Автоматичне та автоматизоване розпаралелювання.</p> <p>Поняття дрібнозернистого та крупнозернистого алгоритмів.</p> <p>Сильнозв'язані та слабозв'язані задачі.</p>

	<p>Обчислювальні системи систолічного типу.</p> <p>Обчислювальні машини потоку даних.</p> <p>Системи зі структурно-процедурною організацією обчислень.</p> <p>Нейрокомп'ютери.</p> <p>Систолічні алгоритми.</p> <p>Розпаралелювання матрично-векторного добутку та матричного множення.</p> <p>Розпаралелювання методів розв'язування СЛАР.</p> <p>Розпаралелювання методу Ейлера для розв'язання задачі Коші.</p> <p>Алгоритми цифрової фільтрації з обмеженим паралелізмом. Оцінка прискорення.</p> <p>Алгоритми цифрової фільтрації з автономними гілками. Оцінка прискорення обчислень.</p> <p>Паралельні алгоритми опрацювання зображень.</p> <p>Паралельні алгоритми та забезпечення режиму реального часу під час розв'язування алгоритмічно складних задач.</p> <p>Порівняння паралельних алгоритмів за швидкодією.</p> <p>Модифікації методу пірамід для розпаралелювання циклів.</p>
<b>Опитування</b>	Анкету-оцінку з метою оцінювання якості курсу буде надано по завершенню курсу.

### Схема курсу

Тиж- день	Тема, план, короткі тези	Форма діяльності (заняття)	Літера- тура. Ресурси в інтернеті	Годи- ни	Термін вико- нання
1	<b>Тема 1. Вступ до курсу</b> (Поняття паралельного алгоритму. Автономні та зв'язані гілки паралельного алгоритму. Синхронна та асинхронна схеми обчислень. Оцінювання ступеня паралелізму алгоритму. Прискорення та ефективність паралельного алгоритму).	Лекція, самостійна робота	[1–9]	2 10	2 тижні
	<b>Тема 1. Зачеплення конвеєрів операцій та паралельно-конвеєрне опрацювання інформації</b> (Конвеєризація. Прискорення конвеєризованих обчислень).	Лаб.	[1–9]	2	1 тиждень
2	<b>Тема 2. Зачеплення конвеєрів операцій та паралельно-конвеєрне опрацювання інформації</b> (Паралельна робота конвеєрів. Оцінка прискорення обчислень).	Лаб.	[1–9]	2	1 тиждень
3	<b>Тема 2. Особливості комунікаційного середовища паралельної обчислювальної системи</b> (Вплив на ефективну реалізацію паралельного алгоритму. Широкомасштабні та локальні комунікаційні мережі. Швидкі та повільні обміни між вузлами мережі. Мережі з фіксованою топологією та ре-	Лекція, самостійна робота	[1–9]	2 10	2 тижні

	конфігуровні мережі. Регулярні і нерегулярні мережі).				
	<b>Тема 3. Паралельні алгоритми розв'язання одновимірної задачі цифрової фільтрації (Синхронна та асинхронна схеми обчислень).</b>	Лаб.	[1–9]	2	1 тиждень
4	<b>Тема 4. Розв'язання одновимірної задачі цифрової фільтрації з використанням методу гіперплощин для розпаралелювання циклів (Ідея методу гіперплощин. Обмеження на оператори тіла циклу. Приклади застосування методу).</b>	Лаб.	[1–9]	2	1 тиждень
5	<b>Тема 3. Підходи до розпаралелювання послідовних алгоритмів і програм (Автоматичне та автоматизоване розпаралелювання. Основні етапи розпаралелювання ациклічних і циклічних ділянок програм та алгоритмів).</b>	Лекція, самостійна робота	[1–9]	2 10	2 тижні
	<b>Тема 5. Розв'язання одновимірної задачі цифрової фільтрації з використанням методу гіперплощин для розпаралелювання циклів (Застосування методу до розв'язання задачі фільтрації. Оцінка складності та прискорення паралельних алгоритмів).</b>	Лаб.	[1–9]	2	1 тиждень
6	<b>Тема 6. Метод пірамід для розпаралелювання циклів, його недоліки та можливості модифікації (Суть методу, деякі способи усунення недоліків).</b>	Лаб.	[1–9]	2	1 тиждень
7	<b>Тема 4. Деякі загальні методи синтезу паралельних алгоритмів (Поняття дрібнозернистого та крупнозернистого алгоритмів. Сильнозв'язані та слабозв'язані задачі).</b>	Лекція, самостійна робота	[1–9]	2 10	2 тижні
	<b>Контрольна робота.</b>	Лаб.	–	2	
8	<b>Тема 7. Розв'язання одновимірної задачі фільтрації з використанням методу пірамід для розпаралелювання циклів (Оцінка складності та прискорення паралельних алгоритмів).</b>	Лаб.	[1–9]	2	1 тиждень
9	<b>Тема 5. Паралельні алгоритми розв'язання алгоритмічно складних задач (Розпаралелювання матрично-векторного добутку та матричного множення. Розпаралелювання ітераційного методу Якобі та методу виключення Гаусса для розв'язання СЛАР. Розпаралелювання методу Ейлера для розв'язання задачі Коші).</b>	Лекція, самостійна робота	[1–9]	2 10	2 тижні
	<b>Тема 8. Розв'язання одновимірної задачі фільтрації з використанням методу пірамід для розпаралелювання циклів (Алгоритми з обмеженим</b>	Лаб.	[1–9]	2	1 тиждень

	паралелізмом. Оцінка прискорення).				
10	<b>Тема 9. Розпаралелювання циклічних ділянок алгоритмів або програм: модифікації методу пірамід (Організація обмінів між гілками).</b>	Лаб.	[1–9]	2	1 тиждень
11	<b>Тема 6. Паралельні обчислювальні системи нетрадиційної архітектури (Систолічні обчислювальні системи. Квазісистолічні обчислювальні системи та їх застосування).</b>	Лекція, самостійна робота	[1–9]	2 10	2 тижні
	<b>Тема 10. Розпаралелювання циклічних ділянок алгоритмів або програм: модифікації методу пірамід (Конвеєрний запуск «обрізаних» пірамід).</b>	Лаб.	[1–9]	2	1 тиждень
12	<b>Тема 11. Паралельні алгоритми розв'язання двовимірної задачі цифрової фільтрації (Синхронна та асинхронна схеми обчислень).</b>	Лаб.	[1–9]	2	1 тиждень
13	<b>Тема 7. Паралельні обчислювальні системи нетрадиційної архітектури (Нейромережеві обчислювальні системи. Обчислювальні машини потоку даних. Асоціативні обчислювальні машини. Системи зі структурно-процедурною організацією обчислень).</b>	Лекція, самостійна робота	[1–9]	2 13	2 тижні
	<b>Тема 12. Паралельні алгоритми розв'язання двовимірної задачі цифрової фільтрації (Алгоритми з автономними гілками. Обмежений паралелізм).</b>	Лаб.	[1–9]	2	1 тиждень
14	<b>Тема 13. Систолічні алгоритми обчислень та їх оцінювання (Прискорення та ефективність алгоритмів).</b>	Лаб.	[1–9]	2	1 тиждень
15	<b>Тема 8. Двовимірні задачі цифрової фільтрації та опрацювання зображень.</b>	Лекція, самостійна робота	[1–9]	2 14	2 тижні
	<b>Контрольна робота.</b>	Лаб.	–	2	
16	<b>Залік.</b>	Лаб.	–	2	