

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

Оновлено та затверджено  
на засіданні  
кафедри прикладної математики  
факультету прикладної математики та  
інформатики  
Львівського національного університету  
імені Івана Франка  
(протокол № 5 від 19.11 2023 р.)



Завідувач кафедри

Юрій ЯЩУК

**Силабус з навчальної дисципліни**  
**«Математичне моделювання та симуляції»,**  
**що викладається в межах ОНП Прикладна математика**  
**другого (магістерського) рівня вищої освіти для здобувачів**  
**з спеціальності 113 – прикладна математика**

Львів 2023 р.

<b>Назва дисципліни</b>	Математичне моделювання та симуляції
<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>	Стягар Андрій Орестович, доцент кафедри прикладної математики
<b>Контактна інформація викладачів</b>	<a href="mailto:andriy.styahar@lnu.edu.ua">andriy.styahar@lnu.edu.ua</a> ; <a href="https://ami.lnu.edu.ua/employee/styahar-a-o">https://ami.lnu.edu.ua/employee/styahar-a-o</a> ; Головний корпус ЛНУ ім. І. Франка, каб. 278. м. Львів, вул. Університетська 1
<b>Консультації з питань навчання по дисципліні відбуваються</b>	Консультації в день проведення лекцій/практичних занять (за попередньою домовленістю).
<b>Сторінка курсу</b>	<a href="https://ami.lnu.edu.ua/course/matematychno-modeliuvannia-ta-symuliacii-pm-1-9">https://ami.lnu.edu.ua/course/matematychno-modeliuvannia-ta-symuliacii-pm-1-9</a>
<b>Інформація про дисципліну</b>	Курс розроблено таким чином, щоб надати учасникам знання практичних аспектів застосування числових методів та здобути навички застосування числових методів у прикладних задачах та розробки проектів з їх використанням. Тому у курсі представлено огляд числових методів для розв'язування задач математичної фізики, розглянуто метод спектральних елементів та інші методи високого порядку, продемонстровано застосування числових методів на прикладі задач сейсмології
<b>Коротка анотація дисципліни</b>	Дисципліна «Математичне моделювання та симуляції» є вибірковою дисципліною з спеціальності 113 – прикладна математика для освітньої програми Прикладна математика, яка викладається в 11му семестрі в обсязі 4,5 кредити (за Європейською Кредитно-Трансферною Системою ECTS).
<b>Мета та цілі дисципліни</b>	Метою вивчення вибіркової дисципліни «Математичне моделювання та симуляції» є освоєння студентами основних принципів застосування числових методів до розв'язування прикладних задач математичної фізики.
<b>Література для вивчення дисципліни</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Pozrikidis C. Introduction to Finite and Spectral Element Methods with Matlab, 2<sup>nd</sup> edition. CRC Press, 2014. – 793 pp.</li> <li>2. Lohner R. Applied Computational Fluid Dynamics Techniques: an Introduction Based on Finite Element Methods. Wiley, 2008 – 519 pp.</li> <li>3. Igel, H. Computational Seismology: a Practical Introduction. Oxford University Press, 2017. – 323 pp.</li> <li>4. Quarteroni A. Numerical Models for Differential Problems. MS&amp;A. Springer, 2009. – 601 pp.</li> <li>5. Shearer P. Introduction to Seismology. Cambridge University Press, 2009. – 396 pp.</li> <li>6. F. di Michele, A. Styahar, D. Pera, J. May, R. Aloisio, B. Rubino, P. Marcati. Fault shape effect on SH waves using finite element method, Springer, Journal of Seismology, 26 (2022), pp. 417-437, doi: <a href="https://doi.org/10.1007/s10950-022-10075-y">https://doi.org/10.1007/s10950-022-10075-y</a></li> </ol>

	7. F. di Michele, D. Pera, J. May, V. Kastelic, M. Carafa, A. Styahar, B. Rubino, R. Aloisio, P. Marcati. On the possible use of the not-honoring method to include a real thrust into 3D physical based simulations, 21st International Conference on Computational Science and Its Applications (ICCSA), 13-16 September 2021, Cagliari, Italy, pp. 268-275, DOI 10.1109/ICCSA54496.2021.00044
<b>Обсяг курсу</b>	Загальний обсяг: 135 годин. Аудиторних занять: 48 год., з них 32 год. лекцій та 16 години лабораторних робіт. Самостійної роботи: 87 год.
<b>Очікувані результати навчання</b>	Після завершення цього курсу студент буде : Знати: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Основи методу спектральних елементів</li> <li>- Числові схеми для різних прикладних задач</li> <li>- Переваги та недоліки застосування числових методів</li> <li>- Структуру проектів методу спектральних та скінченних елементів</li> <li>- Основи зв'язку між неперервними та дискретизованими варіантами прикладних задач</li> <li>- Базові математичні моделі, що застосовуються для моделювання землетрусів</li> </ul> Вміти <ul style="list-style-type: none"> <li>- Розробляти комп'ютерне забезпечення для числового розв'язування крайових задач</li> <li>- Проводити симуляції та аналізувати отримані результати програм</li> <li>- Обирати числовий метод для розв'язування прикладних задач</li> <li>- Правильно проводити валідацію та верифікацію алгоритмів</li> </ul>
<b>Ключові слова</b>	Метод скінченних елементів, метод спектральних елементів, математичне моделювання
<b>Формат курсу</b>	Очний
	Проведення лекцій, лабораторних робіт та консультацій.
<b>Теми</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Огляд курсу. Математичні моделі землетрусів (4 години лекційні, 2 години лабораторні)</li> <li>2. Скінченнорізницеві методи для числового розв'язування задач, які виникають при моделюванні землетрусів (4 години лекційні, 2 години лабораторні)</li> <li>3. Схема МСЕ для числового розв'язування задач сейсмології (2 години лекційні, 2 години лабораторні).</li> <li>4. Одновимірний метод спектральних елементів та його застосування (2 години лекційні, 2 години лабораторні).</li> <li>5. Двовимірний метод спектральних елементів та його застосування (4 години лекційні, 2 години лабораторні).</li> <li>6. Метод спектральних елементів для гіперболічних рівнянь (2 години лекційні).</li> <li>7. Перетворення Фур'є та його застосування в сейсмології (2 години лекційні).</li> <li>8. Дискретне перетворення Фур'є та його застосування (2 години лекційні, 2 години лабораторні)</li> <li>9. Швидке перетворення Фур'є (2 години лекційні)</li> <li>10. Обернені задачі в сейсмології (2 години лекційні)</li> <li>11. Застосування паралельних обчислень та НРС для моделювання землетрусів (2 години лекційні, 2 години лабораторні)</li> <li>12. Приклади симуляцій у сейсмології та аналіз результатів (4 годин лекційних, 2 години лабораторні)</li> </ol>

<b>Підсумковий контроль, форма</b>	Залік в кінці семестру																																									
<b>Пререквізити</b>	Для вивчення курсу студенти потребують базових знань з <ul style="list-style-type: none"> <li>- чисельних методів</li> <li>- чисельних методів математичної фізики</li> <li>- рівнянь математичної фізики</li> <li>- програмування.</li> </ul>																																									
<b>Навчальні методи та техніки, які будуть використовуватися під час викладання курсу</b>	Презентація, лекції (лекція-розповідь, лекція-бесіда) Індивідуальні завдання																																									
<b>Необхідне обладнання</b>	Проектор																																									
<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>• індивідуальні завдання : 75% семестрової оцінки; максимальна кількість балів 75 (5 завдань по 15 балів, розв'язки завдань потрібно презентувати)</li> <li>• колоквіум: 25% семестрової оцінки; максимальна кількість балів 25 (5 завдань по 5 балів)</li> </ul> <p>Підсумкова максимальна кількість балів 100.</p> <p>Оцінювання проводиться за 100-бальною шкалою.</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2" rowspan="2">Оцінка за шкалою ECTS</th> <th rowspan="2">Оцінка в балах</th> <th colspan="3">Оцінка за національною шкалою</th> </tr> <tr> <th colspan="2">Екзамен, диференційований залік</th> <th>залік</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>Відмінно</td> <td>100 - 90</td> <td>Відмінно</td> <td>5</td> <td rowspan="5">зараховано</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>Дуже добре</td> <td>81 - 89</td> <td rowspan="2">Добре</td> <td rowspan="2">4</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>Добре</td> <td>71 - 80</td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>Задовільно</td> <td>61 - 70</td> <td rowspan="2">Задовільно</td> <td rowspan="2">3</td> </tr> <tr> <td>E</td> <td>Достатньо</td> <td>51 - 60</td> </tr> <tr> <td>FX (F)</td> <td>Незадовільно</td> <td>0 - 50</td> <td>Незадовільно</td> <td>2</td> <td>не зараховано</td> </tr> </tbody> </table> <p><b>Критерії оцінювання індивідуальних завдань:</b></p> <p><b>15 балів</b> – студент повністю виконав умови завдання, правильно розв'язавши усі задачі, бере активну участь в обговоренні задач та презентації розв'язків, відповідає на всі питання, пропонує альтернативні розв'язки;</p> <p><b>12-14 балів</b> – студент виконав завдання, розв'язавши усі задачі з незначними помилками та неточностями, бере активну участь в обговоренні задач та презентації розв'язків, відповідає на всі питання;</p> <p><b>9-11 балів</b> – студент виконав завдання частково, розв'язки містять помилки та неточності, бере активну участь в обговоренні задач та презентації розв'язків, відповідає на більшість питань;</p> <p><b>5-8 балів</b> – студент виконав завдання частково, розв'язки містять помилки, які суттєво впливають на отриманий результат, та є</p>					Оцінка за шкалою ECTS		Оцінка в балах	Оцінка за національною шкалою			Екзамен, диференційований залік		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	FX (F)	Незадовільно	0 - 50	Незадовільно	2	не зараховано
Оцінка за шкалою ECTS		Оцінка в балах	Оцінка за національною шкалою																																							
			Екзамен, диференційований залік		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																																								
FX (F)	Незадовільно	0 - 50	Незадовільно	2	не зараховано																																					

неповними, при презентації розв'язків коментарі до розв'язків є недостатніми для розуміння розв'язків;

**1-4 бали** – студент виконав завдання частково з грубими помилками, коментарі до розв'язків практично відсутні;

**0 балів** – студент не виконав завдання

#### **Критерії оцінювання завдань на колоквиумі:**

**5 балів** – студент повністю розкрив теоретичне завдання;

**4 бали** – студент розкрив теоретичне завдання з незначними помилками та неточностями;

**3 бали** – студент розкрив теоретичне завдання частково, міркування містять помилки та неточності;

**2 бали** – студент розкрив теоретичне питання частково, міркування містять помилки, які суттєво впливають на результат, коментарі є недостатніми для розуміння;

**1 бал** – студент практично не розкрив теоретичне питання, міркування містять грубі помилки, коментарі практично відсутні;

**0 балів** – студент не відповів на питання або не продемонстрував базового рівня розуміння при відповіді на питання.

**Письмові роботи:** Очікується, що студенти виконають письмові індивідуальні завдання.

**Академічна доброчесність:** 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.

**Відвідання занять** є важливою складовою навчання. Очікується, що всі студенти відвідають усі лекції і практичні заняття курсу. Студенти мають інформувати викладача про неможливість відвідати заняття. У будь-якому випадку студенти зобов'язані дотримуватися усіх строків визначених для виконання усіх видів письмових робіт та індивідуальних завдань, передбачених курсом.

**Література.** 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.

**Стратегія оцінювання.** Враховуються бали набрані на 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.

Жодні форми порушення академічної доброчесності не толеруються.

<b>Питання до колоквиуму</b>	<p>Математичні моделі землетрусів</p> <p>Скінченнорізницеві методи для числового розв'язування задач, які виникають при моделюванні землетрусів</p> <p>Схема МСЕ для числового розв'язування задач сейсмології.</p> <p>Одновимірний метод спектральних елементів та його застосування.</p> <p>Двовимірний метод спектральних елементів та його застосування.</p> <p>Метод спектральних елементів для гіперболічних рівнянь.</p> <p>Перетворення Фур'є та його застосування в сейсмології.</p> <p>Дискретне перетворення Фур'є та його застосування</p> <p>Швидке перетворення Фур'є</p> <p>Обернені задачі в сейсмології</p> <p>Застосування паралельних обчислень та НРС для моделювання землетрусів</p> <p>Приклади симуляцій у сейсмології та аналіз результатів</p>
<b>Опитування</b>	Анкету-оцінку з метою оцінювання якості курсу буде надано по завершенню курсу.

### Схема курсу

№	Тема, план, короткі тези	Форма діяльності (заняття)	Література	Завдання	Термін виконання
1	Огляд курсу. Математичні моделі землетрусів (4 години)	Лекція	[3], [5]-[7]	Опрацювання лекційного матеріалу (4 години)	2 тижні
	Математичні моделі землетрусів <b>Індивідуальне завдання 1</b> (2 години)	Лабораторна	[3], [5]-[7]	Виконання індивідуального завдання №1 (7 годин)	1 тиждень
2	Скінченнорізницеві методи для числового розв'язування задач, які виникають при моделюванні землетрусів (4 години)	Лекція	[1]-[5]	Опрацювання лекційного матеріалу (4 години)	2 тижні
	Скінченнорізницеві методи для числового розв'язування задач, які виникають при моделюванні землетрусів <b>Індивідуальне завдання 2</b> (2 години)	Лабораторна	[1]-[5]	Виконання індивідуального завдання №2 (7 годин)	1 тиждень
3	Схема МСЕ для числового	Лекція	[1]-[5]	Опрацювання лекційного	1 тиждень

	розв'язування задач сейсмології (2 години)			матеріалу (2 години)	
	Схема МСЕ для числового розв'язування задач сейсмології (2 години)	Лабораторна	[1]-[5]	Виконання домашнього завдання (5 годин)	1 тиждень
4	Одновимірний метод спектральних елементів та його застосування (2 години)	Лекція	[1]	Опрацювання лекційного матеріалу (2 години)	1 тиждень
	Одновимірний метод спектральних елементів та його застосування <b>Індивідуальне завдання 3</b> (2 години)	Лабораторна	[1]	Виконання індивідуального завдання №3 (7 годин)	1 тиждень
5	Двовимірний метод спектральних елементів та його застосування (4 години)	Лекція	[1]	Опрацювання лекційного матеріалу (4 години)	2 тижні
	Двовимірний метод спектральних елементів та його застосування <b>Індивідуальне завдання 4</b> (2 години)	Лабораторна	[1]	Виконання індивідуального завдання №4 (7 годин)	1 тиждень
6	Метод спектральних елементів для гіперболічних рівнянь (2 години)	Лекція	[1]-[5]	Опрацювання лекційного матеріалу (2 години)	1 тиждень
7	Перетворення Фур'є та його застосування в сейсмології (2 години)	Лекція	[3],[5],[6]	Опрацювання лекційного матеріалу (2 години)	1 тиждень
8	Дискретне перетворення Фур'є та його застосування (2 години)	Лекція	[3],[5],[6]	Опрацювання лекційного матеріалу (2 години)	1 тиждень
	Дискретне перетворення Фур'є та його застосування	Лабораторна	[3],[5],[6]	Виконання індивідуального	1 тиждень

	<b>Індивідуальне завдання 5</b> (2 години)			завдання №5 (7 годин)	
9	Швидке перетворення Фур'є (2 години)	Лекція	[3],[5],[6]	Опрацювання лекційного матеріалу (2 години)	1 тиждень
10	Обернені задачі в сейсмології (2 години)	Лекція	[3]	Опрацювання лекційного матеріалу (2 години)	1 тиждень
11	Застосування паралельних обчислень та НРС для моделювання землетрусів (2 години)	Лекція	[7]	Опрацювання лекційного матеріалу (2 години)	1 тиждень
	Застосування паралельних обчислень та НРС для моделювання землетрусів (2 години)	Лабораторна	[7]	Виконання домашнього завдання (5 годин)	1 тиждень
12	Приклади симуляцій у сейсмології та аналіз результатів (4 години)	Лекція	[1-7]	Опрацювання лекційного матеріалу (4 години)	2 тижні
	Приклади симуляцій у сейсмології та аналіз результатів <b>Проведення колоквиуму</b> (2 години)	Лабораторна	[1-7]	Підготовка до колоквиуму (10 годин)	1 тиждень