

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
«Комп'ютерне моделювання динамічних систем
з розподіленими параметрами»,
що викладається в межах ОНП Прикладна математика
другого (магістерського) рівня вищої освіти для здобувачів
з спеціальності 113 – прикладна математика

Львів 2023 р.

Назва дисципліни	Комп'ютерне моделювання динамічних систем з розподіленими параметрами
Адреса викладання дисципліни	Головний корпус ЛНУ ім. І. Франка м. Львів, вул. Університетська 1
Факультет та кафедра, за якою закріплена дисципліна	Факультет прикладної математики та інформатики Кафедра прикладної математики
Галузь знань, шифр та назва спеціальності	11 – математика та статистика 113 – прикладна математика
Викладачі дисципліни	Щербатий Михайло Васильович, кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри прикладної математики, Макар Ігор Григорович, кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри прикладної математики (лабораторні заняття)
Контактна інформація викладачів	mykhaylo.shcherbatyy@lnu.edu.ua ; https://ami.lnu.edu.ua/employee/shcherbatyy Головний корпус ЛНУ ім. І. Франка, каб. 278. м. Львів, вул. Університетська, 1
Консультації з питань навчання по дисципліні відбуваються	Консультації в день проведення лекцій/лабораторних занять (за попередньою домовленістю).
Сторінка курсу	https://ami.lnu.edu.ua/course/komp-iuterne-modeliuvannia-dynamichnykh-system-z-rozpodilenymy-parametramy-prykladna-matematyka-1-9
Інформація про дисципліну	Дисципліна «Комп'ютерне моделювання динамічних систем з розподіленими параметрами» є дисципліною на вибір зі спеціальності 113 – прикладна математика для ОНП «Прикладна математика», яка викладається в 2-му семестрі в обсязі 3-х кредитів (за Європейською Кредитно-Трансферною Системою ECTS).
Коротка анотація дисципліни	Курс спрямований на ознайомлення студентів з методами і техніками моделювання та аналізу динамічних систем, поведінка яких розглядається в просторово-часовій області. Основний акцент робиться на рівняннях параболічного типу, зокрема на моделях дифузії та реакції-дифузії. Курс включає в себе також якісний аналіз динамічних систем, розглядаючи спочатку звичайні диференціальні рівняння як попередню підготовку до аналізу систем з розподіленими параметрами. Приклади задач із різних галузей (зокрема динаміки популяцій, епідеміології та інших систем) демонструють матеріал даного курсу.
Мета та цілі дисципліни	Метою курсу є надання студентам знань та навичок у сфері: <ul style="list-style-type: none"> - комп'ютерного моделювання та якісного аналізу динамічних систем з розподіленими параметрами, зокрема систем з рівняннями в частинних похідних параболічного типу; - використання систем комп'ютерної математики (напр. Matlab, Octave) або інших програмних продуктів (напр. Python з бібліотеками NumPy та SymPy) для дослідження сформульованих математичних моделей.

<p>Література для вивчення дисципліни</p>	<p>Основна література</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Kuttler C. <i>Reaction-Diffusion equations with applications</i>. Sommersemester, 2011. 2. Brauer F., Castillo-Chavez C. <i>Mathematical Models in Population Biology and Epidemiology</i>. Springer, 2012. 3. Volpert V. <i>Elliptic Partial Differential Equations. Volume 2: Reaction-Diffusion Equations</i>. Springer Basel, 2014. 4. Lam K-Y, Lou Y. <i>Introduction to Reaction-Diffusion Equations. Theory and Applications to Spatial Ecology and Evolutionary Biology</i>. Springer, 2022. 5. Пічкур В. В., Капустян О. В., Собчук В. В. <i>Теорія динамічних систем</i>. Луцьк, Вежа-Друк, 2020. 6. Хусаїнов Д.Я., Харченко І.І., Шатирко А.В. <i>Введення в моделювання динамічних систем</i>. Київський національний університет імені Тараса Шевченка, 2010. <p>Додаткова література</p> <ol style="list-style-type: none"> 7. Іванків К.С., Щербатий М.В. <i>Математичне моделювання біологічних та еколого-економічних процесів</i>. Львів, Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка 2005. 8. Perko L. <i>Differential Equations and Dynamical Systems</i>. Springer, 2001. 9. Quarteroni A. <i>Numerical Models for Differential Problems</i>. Springer, 2017. 10. Quarteroni A., Saleri F., Gervasio P. <i>Scientific Computing with MATLAB and Octave</i>. Springer, 2014. 11. MATLAB Homepage: http://www.mathworks.com/products/matlab/. 12. GNU Octave Homepage: http://www.gnu.org/software/octave/
<p>Обсяг курсу</p>	<p>Загальний обсяг: 90 годин. Аудиторних занять: 32 год., з них 16 годин лекцій та 16 годин лабораторних робіт. Самостійної роботи: 58 год.</p>
<p>Очікувані результати навчання</p>	<p><i>В результаті вивчення даного курсу студент буде:</i></p> <p>знати:</p> <ul style="list-style-type: none"> • основи поведінки динамічних систем з розподіленими параметрами; • методи побудови математичних моделей даних систем та їх аналізу. <p>вміти:</p> <ul style="list-style-type: none"> • застосовувати рівняння в частинних похідних для моделювання та аналізу динамічних систем; • проводити якісний аналіз динамічних систем параболічного типу, включаючи дослідження стійкості, біжучих хвиль та інших явищ; • використовувати чисельні методи та програмні засоби для розв'язування рівнянь з розподіленими параметрами та аналізу їх поведінки.
<p>Ключові слова</p>	<p>Динамічна система, звичайне диференціальне рівняння, рівняння в частинних похідних, рівняння дифузії-реакції, модель взаємодії популяцій, модель епідемій, стаціонарна точка, фокус, вузол, сідло, центр, фазовий портрет, біжуча хвиля.</p>
<p>Формат курсу</p>	<p>Очний, дистанційний Проведення лекцій, лабораторних робіт і консультацій.</p>
<p>Теми</p>	<p>Подано нижче у таблиці Схема курсу «Комп'ютерне моделювання динамічних систем з розподіленими параметрами»</p>

Підсумковий контроль, форма	Залік					
Пререквізити	Для вивчення даного курсу студенти потребують базових знань з курсів: <ul style="list-style-type: none"> - Математичний аналіз; - Лінійна алгебра; - Диференціальні рівняння; - Рівняння математичної фізики; - Чисельні методи; - Систем комп'ютерної математики (напр., Matlab, Octave) або бібліотек чисельних методів інших програмних продуктів (напр. NumPy для Python). 					
Навчальні методи та техніки, які будуть використовуватися під час викладання курсу	Презентації, лекції, матеріали лабораторних занять Домашні та індивідуальні завдання					
Необхідне обладнання	Комп'ютер із однією із систем комп'ютерної математики (Matlab, Octave) або програмний продукт із наявними бібліотеками чисельних методів: лінійної алгебри; розв'язування систем звичайних диференціальних рівнянь; рівнянь в частинних похідних.					
Критерії оцінювання (окремо для кожного виду навчальної діяльності)	Оцінювання проводиться за 100-бальною шкалою.					
	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	
<p>Бали нараховуються за наступним співвідношенням:</p> <ul style="list-style-type: none"> • домашні завдання : 30% семестрової оцінки; максимальна кількість балів 30 (2 завдання по 15 балів); • індивідуальні завдання : 70% семестрової оцінки; максимальна кількість балів 70 (2 завдання 25 і 45 балів відповідно). <p>Загалом протягом семестру 100 балів.</p> <p>Для кожного завдання встановлено терміни здачі. Завдання, які здаються із порушенням термінів без поважних причин, оцінюються на нижчу оцінку.</p> <p>Критерії оцінювання домашніх та індивідуальних завдань. За кожне завдання студент отримує SZ балів, які обчислюється за формулою</p> $SZ=S*k,$ <p>де k – коефіцієнт виконання завдання, $k \in [0,1]$, S – максимальне кількість балів за дане завдання.</p>						

k – коефіцієнт виконаного завдання	Критерії оцінювання
$k \in [0.9,1]$	Студент повністю виконав умови завдання; алгоритм реалізовано правильно; відповідає на практично на всі запитання, пов'язані з тематикою завдання; проводить чіткий аналіз та порівняння отриманих результатів.
$k \in [0.7,0.9)$	Студент повністю виконав умови завдання; алгоритм реалізовано правильно; на деякі питання, пов'язані з тематикою завдання, відповідає з незначними неточностями; проводить аналіз отриманих результатів з незначними неточностями.
$k \in [0.5,0.7)$	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.
$k \in [0.3,0.5)$	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.
$k \in [0.1,0.3)$	Студент виконав завдання частково, алгоритм реалізовано з помилками, які самостійно не може виправити; переважно не відповідає на запитання.
$k \in (0,0.1)$	Студент виконав завдання частково або з грубими помилками, які самостійно не може виправити; демонструє незнання матеріалу.
$k = 0$	Студент не виконав 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 та лабораторні зайняття курсу. 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.

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.

Політика виставлення балів. Враховуються бали набрані при поточному тестуванні та самостійній роботі. 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.
Питання до матеріалу курсу.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Поняття системи, моделі та процесу математичного моделювання. Приклади моделей динамічних систем. 2. Стійкість лінійних динамічних систем у вигляді систем звичайних диференціальних рівнянь (СЗДР). Фазові портрети лінійних систем. 3. Нелінійні СЗДР та їх лінеаризація. Фазовий портрет нелінійної системи. 4. Моделювання динамічних систем рівняннями частинних похідних. Рівняння реакції-дифузії. 5. Якісний аналіз рівняння реакції-дифузії. 6. Система рівнянь реакції-дифузії. 7. Якісний аналіз в системах рівнянь реакції-дифузії. 8. Моделювання росту ізольованої популяції. 9. Моделювання взаємодії двох популяцій. 10. Моделювання поширення епідемій. 11. Схема числового дослідження в системах рівнянь реакції-дифузії. 12. Біжучі хвилі в рівняннях реакції-дифузії. 13. Дослідження біжучої хвилі для рівняння Фішера. 14. Біжучі хвилі в системах рівнянь реакції-дифузії.
Опитування	Анкету-оцінку з метою оцінювання якості курсу буде надано по завершенню курсу.

Схема курсу «Комп'ютерне моделювання динамічних систем з розподіленими параметрами»

Тиж.	Тема, план, короткі тези	Форма діяльності (заняття)	Література, Ресурси в інтернеті	Завдан ня, год.	Термін виконан ня
1	Тема 1. Вступ до комп'ютерного моделювання динамічних систем з розподіленими параметрами. (<i>Поняття системи, моделі та процесу математичного моделювання. Приклади моделей.</i>)	Лекція, Самостійна робота	[1,3,4,6,7]	2 3	1 тиждень
2	Тема 1. Приклади моделей зі сполученням часової та просторової динаміки. Огляд програмних засобів для чисельного моделювання.	Лабораторна, Самостійна робота	[1-5,7,11,12]	2 4	Під час заняття
3	Тема 2. Стійкість лінійних динамічних систем у вигляді систем звичайних диференціальних рівнянь (СЗДР). Фазові портрети лінійних систем. (<i>Стационарні точки та стійкість динамічних</i>	Лекція, Самостійна робота	[5,7,8]	2 3	1 тиждень

	<i>систем. Стійкий, нестійкий та центральний підпростори лінійних систем)</i>				
4	Тема 2. Лінійні динамічні системи у вигляді СЗДР з постійними коефіцієнтами. (Діагоналізована матриця. Прості власні числа. Кратні власні числа. Комплексні власні числа.) Домашнє завдання 1.	Лабораторна, Самостійна робота	[5,8]	2 3	Під час заняття 2 тижні
5	Тема 3. Нелінійні СЗДР та їх лінеаризація. Фазовий портрет нелінійної системи. (Лінеаризація за першим наближенням, якобіан, ізольована точка рівноваги, теорема Гробмана-Хартмана).	Лекція, Самостійна робота	[5,7,8]	2 3	1 тиждень
6	Тема 3. Приклади дослідження нелінійних СЗДР. (Знаходження точок рівноваги та визначення їх типів, побудова фазових портретів на площині. Чисельне розв'язування СЗДР). Домашнє завдання 2.	Лабораторна, Самостійна робота	[5,8,9-12]	2 4	Під час заняття 2 тижні
7	Тема 4. Моделювання динамічних систем рівняннями частинних похідних. Рівняння реакції-дифузії. (Виведення рівняння, початкові та крайові умови. Моделювання росту популяції.)	Лекція, Самостійна робота	[1-4]	2 3	1 тиждень
8	Тема 4. Чисельне дослідження рівняння реакції-дифузії (одновимірний випадок). (Використання систем комп'ютерної математики для чисельного розв'язування і візуалізації результатів.) Індивідуальне завдання 1.	Лабораторна, Самостійна робота	[2,9-12]	2 5	Під час заняття 2 тижні

9	Тема 5. Якісний аналіз рівняння реакції-дифузії. <i>(Лінійне та нелінійне рівняння, одновимірний випадок. Стаціонарні розв'язки. Стійкість.)</i>	Лекція, Самостійна робота	[1-4,6]	2 4	1 тиждень
10	Тема 5. Приклади якісного аналізу рівнянь реакції-дифузії. <i>(Порівняння результатів якісного аналізу із результати числових досліджень).</i>	Лабораторна, Самостійна робота	[1-4], [9-12]	2 4	Під час заняття
11	Тема 6. Система рівнянь реакції-дифузії. Якісний аналіз. <i>(Лінійні та нелінійні рівняння, одновимірний випадок. Стаціонарні розв'язки. Стійкість.)</i>	Лекція, Самостійна робота	[1-4],	2 5	1 тиждень
12	Тема 6. Моделювання взаємодії двох популяцій. Моделювання поширення епідемій. Схема числового дослідження в системах рівнянь реакції-дифузії. Приймання індивідуального завдання 1. Індивідуальне завдання 2.	Лабораторна, Самостійна робота	[1-4, 7, 9-12]	2 6	Під час заняття 4 тижні
13	Тема 7. Біжучі хвилі в рівняннях реакції-дифузії.	Лекція, Самостійна робота	[1-4]	2 4	1 тиждень
14	Тема 7. Дослідження біжучої хвилі для рівняння Фішера.	Лабораторна, Самостійна робота	[1-2]	2 3	Під час заняття
15	Тема 8. Біжучі хвилі в системах рівнянь реакції-дифузії <i>(на прикладі взаємодії двох популяцій по типу "хижак-жертва").</i>	Лекція, Самостійна робота	[1-4]]	2 4	1 тиждень
16	Тема 8. Приймання індивідуального завдання 2. Аналіз результатів. Підведення підсумків.	Лабораторна		2	Під час заняття