

## «Детермінований хаос в нелінійних динамічних системах»

### Робоча програма навчальної дисципліни (силабус)

#### Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Третій (освітньо-науковий)</i>
Галузь знань	<i>11 - Математика та статистика</i>
Спеціальність	<i>113 Прикладна математика</i>
Освітньо-наукова програма	<i>Математичне моделювання та обчислювальні методи</i>
Статус дисципліни	<i>Вибіркова</i>
Форма навчання	<i>очна(денна)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>2 курс осінній семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>90 годин / 3 кредити ЕКТС (лекції – 20 год., практичні заняття – 10 год., СРС – 60 год.)</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>залік, модульна контрольна робота</i>
Розклад занять	<i>2 год лекційних та 1 год практичних занять на тиждень</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	<i>Лекції та практичні заняття проводить: академік, д.т.н., професор, Чикрій Аркадій Олексійович</i>
Розміщення курсу	<a href="https://classroom.google.com/c/ODQ3Mjl5OTk4Njcz?cjc=lqnbdbq6">https://classroom.google.com/c/ODQ3Mjl5OTk4Njcz?cjc=lqnbdbq6</a>

#### Програма навчальної дисципліни

##### 1. Опис навчальної дисципліни, її мета, предмет вивчення та результати навчання

**Дисципліна «Детермінований хаос в нелінійних динамічних системах» спрямована на ознайомлення аспірантів із сучасними підходами побудови математичних моделей та застосування обчислювальних методів, комп'ютерного моделювання. Ці методи можуть бути використані для розв'язання задач дисертаційного дослідження**

**Мета:** формування у аспірантів загальних та фахових компетентностей, застосовувати обчислювальні методи та розробляти математичні та комп'ютерні моделі для розв'язання прикладних та дослідницьких задач в галузі прикладної математики, інформаційних технологій, враховувати сучасні тенденції розвитку прикладної математики для розв'язання задач інформаційних технологій.

**Предмет вивчення** – обчислювальні методи, математичні, комп'ютерні моделі

**Програмні результати навчання:**

**Загальні компетентності**

**ЗК01.** Здатність абстрактно мислити, виконувати поглиблений критичний аналіз, оцінку і синтез нових та комплексних ідей, формування необхідних методологічних принципів і навичок аналізу предмету наукового дослідження і явищ реального світу осмисленого підходу до життя, відокремлювати головні проблеми від другорядних, розуміти глобальні аспекти та їх наслідки;

- ЗК02. Вміння виявляти проблему, виконувати постановку задачі та вирішувати її, зокрема, виявляти актуальні, значущі проблеми, які потребують розширення та переоцінки існуючих та/або розроблення нових підходів, створення нових моделей, методів, технологій, тощо генерувати нові ідеї.*
- ЗК03. Здатність до ґрунтовних досліджень, пошуку, оброблення аналізу інформації з різних джерел, використання сучасних інформаційних технологій, започаткування, планування, реалізації та коригування послідовного процесу ґрунтового наукового дослідження, демонструючи значну авторитетність, інноваційність, високий ступінь самостійності, з дотриманням належної академічної та професійної доброчесності й здатності до саморозвитку та самонавчання"*

### **Фахові компетентності**

- ФК01. Здатність виконувати оригінальні наукові дослідження, визначати наукову проблему, формулювати робочі гіпотези дослідження, отримувати науковий результат, який передбачає продукування нових знань в прикладній математиці та дотичних мультидисциплінарних сферах, оприлюднювати отримані наукові результати*
- ФК02. Здатність до формулювання цілей та задач дослідження, його структурно-логічної схеми, розвинення окремих напрямків досліджень на основі існуючих та власних теоретичних підходів, моделей і методів, алгоритмів, що передбачає глибоке переосмислення наявних та створення нових цілісних знань.*
- ФК04 Здатність застосовувати сучасні інформаційні та комунікаційні технології, працювати з структурованими та неструктурованими даними, отримуваними з баз даних, електронних ресурсів мережі Інтернет, інших джерел, використовувати спеціалізоване програмне забезпечення для математичного моделювання та застосування обчислювальних методів як у процесі навчання, так і на всіх етапах наукової діяльності: теоретичного обґрунтування постановки задач та вибору методу її розв'язку, вибору методики виконання дослідження, проведення чисельних експериментів, практичного застосування, аналізу та інтерпретації результатів.*
- ФК06 Здатність до розроблення нових та застосування математичних моделей, обчислювальних методів до розв'язання широкого кола прикладних задач, зокрема, в сфері національної безпеки та оборони, екологічної безпеки і збалансованого природокористування*
- ФК09 Здатність використовувати дані експериментів і натурних спостережень на етапах постановки задач, опрацювання проєктних гіпотез моделі і формулювання результатів досліджень.*

### **Програмні результати навчання**

- ПРН01. Мати сучасні концептуальні та методологічні знання в галузі прикладної математики, науково-дослідницької та/або професійної діяльності і на межі предметних галузей знань, достатні для виконання фундаментальних та прикладних досліджень на світовому рівні.*
- ПРН02 Знати принципи організації НДР, фінансування їх виконання, вміти формувати запити на участь у конкурсах, грантах, тощо, розробляти звітну документацію, презентувати результати дослідження державною та іноземними мовами.*
- ПРН03. Вміти з нових дослідницьких позицій формулювати загальну методологічну базу власного наукового дослідження, усвідомлювати його актуальність, мету і значення, започатковувати, планувати, реалізовувати та коригувати послідовний процес ґрунтового наукового дослідження, критично аналізуючи та оцінюючи його результати, синтезуючи нові та комплексні ідеї з дотриманням належної академічної доброчесності, в тому числі, в контексті досягнення глобальних цілей сталого розвитку.*
- ПРН09. Знати перспективні напрямки, розуміти математичні концепції, методи прикладної математики, зокрема, математичного моделювання, обчислювальні методи, вміти застосовувати їх у дослідженнях динамічних процесів та складних систем*

ПРН11 Вміти застосовувати знання в галузі прикладної математики для провадження міждисциплінарних досліджень, зокрема розв'язання слабкоформалізованих задач національної безпеки та оборони, екологічної безпеки і збалансованого природокористування

## 2. Пререквізити та постреквізити дисципліни (місце в структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою програмою)

Дисципліна «**Детермінований хаос в нелінійних динамічних системах**» вивчається у осінньому (третьому) семестрі другого курсу, тому для успішного засвоєння дисципліни необхідні знання з дисциплін «Перспективні напрямки математичного моделювання складних систем» та «Сучасні обчислювальні методи розв'язування задач дослідження динамічних процесів». Для вивчення дисципліни «**Детермінований хаос в нелінійних динамічних системах**» аспірант має бути знайомий з основами постановки задач та методами математичного моделювання, обчислювальними методами, методикою проведення чисельних експериментів та оброблення даних, розробляти комп'ютерні моделі та реалізовувати їх в спеціалізованих середовищах та створювати власні розробки використовуючи сучасні мови програмування, розробляти, аналізувати та застосовувати знання з різних предметних.. На результатах навчання з дисципліни «**Детермінований хаос в нелінійних динамічних системах**» базуються такі освітні компоненти, як написання дисертації.

## 3. Зміст навчальної дисципліни

<b>Тема 1:</b> Методи аналізу. Динамічні систем. Детермінований хаос. Сінергетика. Странний атрактор.
<b>Тема 2:</b> Нелінійні осцилятори. Резонансні явища.
<b>Тема 3:</b> Коливальні системи. Маятникові системи. Хаос в коливальних системах.
<b>Тема 4:</b> Динаміка нелінійних систем із запізненням.
<b>Тема 5:</b> Нелінійна динаміка вихорових систем. Адвекційні процеси. Хаотична адвекція

## 4. Навчальні матеріали та ресурси

### Базова література

1. Arnold V. Mathematical methods of classical mechanics. - Springer, 2020, 530p.
2. Пічкур В.В., Капустян О. В., Собчук В. В. Стійкість та атрактори еволюційних рівнянь. К. : ВПЦ „Київський університет”, 2023. 367 с.
3. S.O.Dovgij,I.K.Lifanov, D.I.Cherniy The method of singular integral equations and computational technologies. –Kyiv.: Publishing house "Yuston" 2016, pp.380.
4. Матвієнко В. Т., Пічкур В. В.,Черній Д. І. Методи оптимізації параметричних систем. Журнал обчислювальної та прикладної математики. 2021. №1 (135). С.151-157.

5. Матвієнко В. Т., Пічкур В. В., Черній Д. І., Демківський Є. О. Загальний розв'язок термінального керування лінійної дискретної системи. *Журнал обчислювальної та прикладної математики*. 2022. №2. С. 83-90.
6. G. B. Whitham F.R.S. LINEAR AND NONLINEAR WAVES. – A Wiley- Interscience Publication, JOHN WILEY & SONS, New York – London-Sydney-Toronto-1974,622p.
7. Hermann Haken ADVANCED SYNERGETICS.- Springer-Verlag: Berlin, New York, Tokyo - 1983,-420p.
8. Meleshko V.V. Advection of a vortex pair atmosphere in a velocity field of point vortices // V.V.Meleshko, M.Yu.Konstantinov, A.A.Gurzhi et al. // *Physics of Fluids*. – 1992. – Vol. 4. – P.2779-2797.

#### *Додаткова література*

9. Мелешко В.В. Константинов М.Ю. Динаміка вихорових структур.-Київ: Наукова думка, 1993,-280с.
10. Meleshko V.V. Stirring of an inviscid fluid by interacting point vortices / V.V.Meleshko, A.A.Gourjii // *Proceeding Colloquium Royal Netherlands Academy of Arts and Science “Modeling of Oceanic Vortices”* (ed. G.J.F. van Heijst). – Amsterdam: North-Holland, 2024. – p.271-281.
11. Гуржій О.А. Метод кускової сплайн-інтерполяції в задачі про адвекцію пасивної домішки у відомому полі швидкості / О.А.Гуржій, В.В.Мелешко, Г.Я.Ф.ван Хейст // *Доповіді НАН України*. – 1996. – № 8. – с.54-62.

#### *Інформаційні ресурси*

1. Volodymyr Pichkur, Valentyn Sobchuk, Oleksandr Laptiev, Dmytro Cherniy, Volodymyr Matvienko, Juliya Fedorenko. The Adaptive Correction of Angular Velocities of an Unmanned Aerial Vehicle Based on Discrete Measurements of Orientation. *IEEE International Conference on Methods and Systems of Navigation and Motion Control (MSNMC)*, 24-27 October, 2023, pp.91 - 95 <https://ieeexplore.ieee.org/document/10329226>
2. Volodymyr Pichkur; Sobchuk Valentyn, Dmytro Cherniy, Anton Ryzhov Functional stability of production processes as control problem of discrete systems with change of state vector dimension/*Bulletin of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Series: Physics and Mathematics*,2024. DOI: [10.17721/1812-5409.2024/1.21](https://doi.org/10.17721/1812-5409.2024/1.21)
3. Pichkur V., Sobchuk V., Cherniy D. Mathematical models and control of functionally stable technological process. - Chapter in the book: *Computational Methods and Mathematical Modeling in Cyberphysics and Engineering Applications 1* (ed. by Dmitri Koroliouk, Sergiy Lyashko, and Nikolaos Limnios), ISTE, Wiley, 2024, pp. 101-120. DOI: [10.1002/9781394284344.ch5](https://doi.org/10.1002/9781394284344.ch5)
4. Pichkur V., Sobchuk V., Cherniy D. Modèles mathématiques et contrôle des processus technologiques fonctionnellement stables. - Chapitre dans un livre: *Méthodes de calcul et modélisation mathématique en cyberphysique et applications techniques 1: modélisation numérique et analyse asymptotique* / sous la direction de Dmitri Koroliouk, Sergiy Lyashko et Nikolaos Limnios. ISTE Editions Ltd. London. 2024. pp. 103–120 DOI: [10.51926/iste.9164.ch5](https://doi.org/10.51926/iste.9164.ch5)

#### **Навчальний контент**

##### **5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)**

*Для лекційних занять використовуються пояснювально-ілюстративний метод та метод проблемного виконання, для проведення практичних занять використовується дослідницький*

метод навчання: викладач ставить перед аспірантами проблему, і ті вирішують її самостійно або під керівництвом викладача.

За дистанційної форми навчання заняття проводять за допомогою платформи для проведення онлайн-зустрічей Zoom

№ п/п	Змістові модулі / теми	Кількість годин, відведених на:			Термін виконання
		лекції	практичні заняття	сам. робота.	
1	2	3	4	5	6
T1	Назва теми 1. Динамічні систем. Детермінований хаос. Сінергетика..	4		12	1-й, 2-й тиждень
T2	Назва теми 2 Нелінійні осцилятори. Резонансні явища.	4	2	12	3-й, 4-й тиждень
T3	Назва теми 3 Коливальні системи. Маятникові системи. Хаос в коливальних системах..	4	2	12	5-й, 6-й тиждень
T4	Назва теми 4 Динаміка нелінійних систем. Системи із запізненням	4	2	12	7-й, 8-й тиждень
T5	Назва теми 5 Нелінійна динаміка вихорових систем. Адвекційні процеси. Хаотична адвекція	4	2	12	9-й, 10-й тиждень
МКР	Модульна контрольна робота		2		11-й тиждень
	<b>Всього модуль</b>	<b>20</b>	<b>10</b>	<b>60</b>	

### 5.1. Лекції

#### Лекційні заняття

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на інформаційні джерела)
Тема 1 _____	
1	<b>Лекція 1.</b> Динамічні систем. Методи аналізу. Основні питання: Стійкість систем. Нестійки системи. Хаос. Сінергетика.
	<b>Лекція 2.</b> Динамічні систем. Детермінований хаос. Основні питання: Сінергетика.. Атрактори. Странний атрактор.
Тема 2 _____	
5	<b>Лекція 3.</b> Коливальні системи. Маятникові системи Нелінійні осцилятори Основні питання: Біфуркації. Елементи теорії катастроф.
	<b>Лекція 4.</b> Нелінійні осцилятори. Резонансні явища. Основні питання: Праметрричний резонанс.
Тема 3 _____	
6	<b>Лекція 5.</b> Коливальні системи. Хаос в коливальних системах. Основні питання: Критерії хаосу. Умови виникнення Хаосу.
17	<b>Лекція 6.</b> Динаміка нелінійних систем. Основні питання:
Тема 4 _____	

18	<b>Лекція 7.</b> Динаміка нелінійних систем із запізненням Основні питання: Процеси із запізненням.
	<b>Лекція 8.</b> Нелінійна динаміка вихорових систем. Основні питання: Нестійкість. Умови стійкості
Тема 5 _____	
	<b>Лекція 9.</b> Адвекційні процеси. Основні питання: Атрактори
	<b>Лекція 10.</b> Хаотична адвекція Основні питання: Сінергетика.. Атрактори

## 5.2 Практичні роботи

### Практичні заняття

№ з/п	Назва теми заняття та перелік основних питань
1	Практичне заняття №1. Динамічні систем. Методи аналізу. Основні питання заняття: Хаос. Сінергетика. Література: 1, 2, 3
2	Практичне заняття №2. Елементи теорії катастроф. Основні питання: Нестійкість. Біфуркації. Література: 1, 2, 3
3	Практичне заняття №3. Динаміка нелінійних систем Основні питання Атрактори. Атрактор Лоренца Література: 1, 2, 3
4	Практичне заняття №4. Нелінійна динаміка вихорових систем. Основні питання. Кластеризація. Когерентні структури. Переход до Хаосу. Література: 1, 2, 3
5	Практичне заняття №5. Адвекція. Хаотична адвекція. Основні питання Моделювання адвекційних процесів. Література: 1, 2, 3

## 5.3 Самостійна робота студента/аспіранта

№	Вид самостійної роботи	Кількість годин (орієнтовно)
1.	Підготовка до аудиторних занять	15
2.	Дослідження реальних задач	5
3.	Формування	5
4.	Проведення розрахунків	5
5.	Обґрунтування та верифікація моделей. Організація інформаційні кампанії з підвищення математичної культури	5
6	Прогнозування	5
7	Формування звіту за результатами дослідження	10
	<b>Всього</b>	<b>60</b>

## Політика та контроль

### 6 Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Вимоги, яких має дотримуватися студент в рамках даної дисципліни:

- правила відвідування занять: відвідування лекцій та практичних занять, а також відсутність на них, не оцінюється. Однак, студентам рекомендується відвідувати заняття, оскільки на них викладається теоретичний матеріал та розвиваються навички, необхідні для виконання семестрового індивідуального завдання та проводяться контрольні заходи (тести) з поточної оцінки самостійної роботи студентів з засвоєння поточного матеріалу. Останні є складовою частиною поточного рейтингу і проводяться тільки у день проведення відповідних лекцій та практичних занять. Система оцінювання орієнтована на отримання балів за своєчасність виконання студентами практичних та контрольних робіт, а також виконання завдань, які здатні розвинути практичні уміння та навички;
- правила поведінки на заняттях: студент повинен брати участь у розв'язку задач, готувати короткі доповіді;
- захист практичних – захист відбувається у визначені терміні під час аудиторних занять;
- політика щодо академічної доброчесності – політика та принципи академічної доброчесності визначені у Етичному кодексі вченого Інституту телекомунікацій та глобального інформаційного простору НАН України.

### 7 Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (PCO)

Семестровий контроль - залік. Рейтингова система оцінювання результатів навчання передбачає оцінювання заходів поточного контролю з дисципліни впродовж семестру. Рейтингова оцінка здобувача складається з балів, отриманих здобувачем за результатами заходів поточного контролю. Рейтингова оцінка доводиться до здобувачів на передостанньому занятті з дисципліни в семестрі. Здобувачі, які виконали всі умови допуску до заліку та мають рейтингову оцінку 60 і більше балів, отримують відповідну до набраного рейтингу оцінку без додаткових випробувань

Зі здобувачами, які виконали всі умови допуску до заліку та мають рейтингову оцінку менше 60 балів, а також з тими здобувачами, хто бажає підвищити свою рейтингову оцінку, на останньому за розкладом занятті з дисципліни в семестрі викладач проводить семестровий контроль у вигляді залікової контрольної роботи.

Для посилення зацікавленості здобувачів у якісному виконанні індивідуальних семестрових завдань, передбачених індивідуальним навчальним планом здобувача, рейтингову оцінку, у разі виконання залікової контрольної роботи, можна визначати як суму балів за залікову контрольну роботу та балів за індивідуальне семестрове завдання. У цьому випадку розмір шкали оцінювання залікової контрольної роботи зменшується на максимальне значення балів, передбачених за виконання відповідного індивідуального семестрового завдання.

Після виконання залікової контрольної роботи, якщо оцінка за залікову контрольну роботу більша ніж за рейтингом, здобувач отримує оцінку за результатами залікової контрольної роботи. Якщо оцінка за залікову контрольну роботу менша ніж за рейтингом, то здобувач отримує більшу з оцінок, що отримані за результатами залікової контрольної роботи або за рейтингом.

До відомості семестрового контролю викладач заносить рейтингові бали, отримані здобувачем у семестрі або за результатами виконання залікової контрольної роботи, та оцінку відповідно до цих балів

Критерії нарахування балів:

1. Практичні заняття оцінюються виходячи з максимальної кількості балів - 20 бали кожне:

- «відмінно» –95 відсотків максимального балу;
- «добре» –75-95;
- «задовільно» –60-75;
- «достатньо» – 50 відсотків – робота виконана, але не захищена.

Умови допуску до підсумкового контролю:є зарахування усіх практичних робіт Рейтинг студента з дисципліни складається з балів, що він отримує за:

- виконання практичних (лабораторних) робіт;
- виконання самостійної роботи.

За період вивчення дисципліни студент може набрати 100 балів. Їх розподіл між видами робіт наведено в таблиці 1

Таблиця 1.

Бали за виконання	Номер практичної роботи або теми					Разом
	1	2	3	4	5	
Практичної роботи		10	10	10	10	100
Самостійної роботи	20	10	10	10	10	

2. Залікова контрольна робота оцінюється за такими критеріями:

- «відмінно» – повна відповідь (не менше 90% потрібної інформації), надані відповідні обґрунтування та особистий погляд;
- «добре» – достатньо повна відповідь (не менше 75% потрібної інформації), що виконана згідно з вимогами до рівня «умінь», або незначні неточності);
- «задовільно» – неповна відповідь (не менше 60% потрібної інформації. що виконана згідно з вимогами до «стереотипного» рівня та деякі помилки);
- «незадовільно» – незадовільна відповідь–0 балів.

*Залікова контрольна робота передбачається у вигляді тесту, критерії оцінювання тесту:*

<i>Кількість правильних відповідей</i>	<i>Відсоток правильних відповідей</i>	<i>Оцінка за національною шкалою</i>	<i>Оцінка за шкалою ECTS</i>
<i>48-50</i>	<i>95-100</i>	<i>Відмінно</i>	<i>A</i>
<i>41-47</i>	<i>82-94</i>	<i>Дуже добре</i>	<i>B</i>
<i>37-40</i>	<i>75-81</i>	<i>Добре</i>	<i>C</i>
<i>34-36</i>	<i>69-74</i>	<i>Задовільно</i>	<i>D</i>
<i>30-33</i>	<i>60-68</i>	<i>Достатньо</i>	<i>E</i>
<i>5-29</i>	<i>10-13</i>	<i>Не задовільно</i>	<i>FX</i>

Відповідність рейтингових балів оцінкам за шкалою Інституту та шкалою ECTS

<i>Рейтингова оцінка</i>	<i>Оцінка за національною шкалою</i>	<i>Оцінка за шкалою ECTS</i>
<i>90-100</i>	<i>Відмінно</i>	<i>A</i>
<i>82-89</i>	<i>Дуже добре</i>	<i>B</i>
<i>75-81</i>	<i>Добре</i>	<i>C</i>
<i>69-74</i>	<i>Задовільно</i>	<i>D</i>
<i>60-68</i>	<i>Достатньо</i>	<i>E</i>
<i>45-59</i>	<i>Не задовільно</i>	<i>FX</i>
<i>Невиконання умов допуску до семестрового контролю</i>	<i>Не допущено</i>	

## **8 Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)**

- *перелік питань, які виносяться на семестровий контроль у додатку*
  - Динамічні системи.
  - Хаос.. Сінергетика. Прояви. Умови та обмеження.
  - Біфуркації. Біфуркація Хопфа.
  - Хаос. Детермінований хаос.
  - Граничний цикл. Странний атрактор.
  - Нелінійні осцилятори. Параметри керування.
  - Ієрархії нестійкості у самоорганізованих системах
  - Резонансні явища . Побудова математичної моделі динаміки системи.
  - Нелінійні коливальні системи.
  - Хаос в коливальних системах. Біфуркації..
  - Шуми.
  - Динаміка нелінійних систем із запізненням.
  - Нелінійна динаміка вихорових систем. Приклади. Математичні моделі.
  - Адвекційні процеси. Побудова математичної моделі. Комп'ютерне моделювання.
  
- є можливість зарахування сертифікатів проходження дистанційних чи онлайн курсів Coursera за відповідною тематикою – зараховується додатково до 10 балів до загального рейтингу студента, якщо студент набрав не менше 75 балів за період вивчення курсу та отримав відповідний сертифікат.

**Ухвалено:**

**Вченою радою Інституту телекомунікацій**

**і глобального інформаційного простору**

**НАН України Протокол №11 від 28.08.2025**

**Введено в дію:**

**Наказом директора**

**Наказ від 29.08.2025 №47-с**