



# Біфуркації атракторів динамічних систем

## 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>111 Математика</i>
Освітня програма	<i>Математика</i>
Статус дисципліни	<i>Вибіркова</i>
Форма навчання	<i>Очна (денна)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>2 курс, весняний семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>4 кредити ЄКТС</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Екзамен</i>
Розклад занять	<a href="http://rozklad.kpi.ua">rozklad.kpi.ua</a>
Мова викладання	<i>Українська/Англійська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	Д. ф.-м. н. професор Швець О.Ю.
Розміщення курсу	Сайт ФМФ <a href="http://chaos.kpi.ua">chaos.kpi.ua</a>

## Програма навчальної дисципліни

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

<b>Цілі дисципліни</b>	<i>Метою дисципліни є ознайомлення майбутніх фахівців-математиків з сучасною теорією біфуркацій, яка є невід'ємною частиною загальної теорії динамічних систем. Набуті знання дозволять їм розв'язувати комплексні проблеми в галузі професійної та дослідницької діяльності</i>
<b>Компетентності</b>	<i>ФК1: здатність самостійно виконувати науково-дослідну діяльність у галузі математики та статистики з використанням сучасних теорій, методів та інформаційно-комунікаційних технологій; ФК2: здатність адаптувати і узагальнювати результати сучасних досліджень в галузі математики та статистики для вирішення наукових і практичних проблем; ФК5: Здатність застосовувати теоретико-ймовірнісні методи і методи фінансової математики, топологічні, алгебраїчні, комбінаторні, категорні методи та методи теорії узагальнених функцій, стохастичного аналізу, інтегральних та диференціальних рівнянь і математичного аналізу для досліджень в сучасній математиці</i>
<b>Програмні результати навчання</b>	<i>РН1 Знати сучасні тенденції, напрямки, наукові концепції та закономірності розвитку світової та вітчизняної науки, основні математичні та статистичні наукові школи, їх теоретичні та прикладні розробки РН2 Володіти найбільш передовими концептуальними та методологічними знаннями в галузі науково-дослідної та професійної діяльності і на межі предметних галузей РН10 Уміти застосовувати знання основ аналізу та синтезу в різних предметних областях, критичного осмислення й розв'язання науково-дослідних проблем РН17 Уміти адаптувати, інтерпретувати та узагальнювати результати сучасних математичних та статистичних досліджень для розв'язання теоретичних та прикладних проблем</i>

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

*Освітній компонент "Біфуркації аттракторів динамічних систем" є одним із завершальних курсів професійної підготовки докторів філософії спеціальності "Математика" необхідних для написання дисертації третього освітньо-кваліфікаційного рівня .*

*Цей курс підсумовує раніше прочитані спеціальні дисципліни в напрямку динамічні системи і дає систематизоване детальне викладання сучасної теорії біфуркації її численних теоретичних та практичних застосувань. Ця дисципліна має глибокі логічні зв'язки з попередніми дисциплінами навчального плану підготовки бакалаврів, магістрів та докторів філософії, такими як «Лінійна алгебра», «Диференціальні рівняння», «Динамічні системи», «Детермінований хаос».*

### 3. Зміст навчальної дисципліни

*Кредитний модуль включає наступні теми*

#### **Розділ 1. Біфуркації положень рівноваги динамічних систем**

*Тема 1.1. Основні поняття та означення. Нормальні форми*

*Тема 1.2. Транскритична біфуркація*

*Тема 1.3. Біфуркація вилка (ластівчин хвіст)*

*Тема 1.4. Сідло-вузлова біфуркація положень рівноваги*

#### **Розділ 2. Біфуркації граничних циклів і інваріантних торів динамічних систем**

Тема 2.1. Біфуркація Андронова-Хопфа

Тема 2.2. Каскади біфуркацій вилка для граничних циклів

Тема 2.3. Сідло-вузлова біфуркація граничних циклів

Тема 2.5. Резонансні цикли на інваріантних торах

Тема 2.4. Біфуркація Неймарка-Сакера народження інваріантного тору

### **Розділ 3. Класичні біфуркації (сценарії) переходу до детермінованого хаосу**

Тема 3.1. Сценарій Фейгенбаума

Тема 3.2. Клас універсальності за Фейгенбаумом.

Тема 3.3. Сценарій Манневілля-Помо (переміжність). Типи переміжностей

Тема 3.4 Сценарій переходу до хаосу при руйнуванні інваріантного тору.

### **Розділ 4. Сучасні узагальнення класичних сценаріїв**

Тема 4.1. Узагальнена переміжність хаос-хаос. Грубо-ламінарні фази переміжності

Тема 4.2. Переміжність з двома ламінарними фазами

Тема 4.3. Переміжність з двома грубо-ламінарними фазами

Тема 4.4. Симетричні каскади біфуркацій в сценарії Фейгенбаума

Тема 4.5. Сценарії переходів типу гіперхаос-гіперхаос

Заплановано семінарські заняття та комп'ютерні практикуми для поглибленого вивчення окремих розділів курсу.

## **Навчальні матеріали та ресурси**

### **1. Базова література**

1. Krasnopol'skaya T.S., Syvets A.Yu. Regular and chaotic dynamics systems with limited excitation, R&CD, M-Iz., 2008.
2. Kuznetsov S.P., Dynamical Chaos, Fizmatlit, Moscow, 2006.
3. Швець О.Ю. Детермінований хаос, Навчальний посібник, КПІ, 2011.

### **2. Допоміжна література**

4. Anischenko V.S., Vadivasova T.E. Lectures on nonlinear dynamics, R&CD, M-Iz., 2011.
5. Shvets A.Yu., Sirenko V.A., Scenarios of Transitions to hyperchaos in Nonideal Oscillating Systems, J. Math. Sci., 243(2), 338-346, 2019
6. Shvets A. Yu. Overview of Scenarios of Transition to Chaos in Nonideal Dynamic Systems, Proceedings of the 13th Chaotic Modeling and Simulation International Conference, 807 – 817, 2020.

## **Навчальний контент**

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

Основні теми навчального плану можуть бути освоєні за допомогою електронного конспекту лекцій розміщеного на сайті ФМФ [chaos.kpi.ua](http://chaos.kpi.ua)

### **Самостійна робота аспіранта**

Вивчення дисципліни включає наступні види самостійної роботи:

- підготовка до семінарських занять комп'ютерних практикумів,
- виконання розрахунково-графічної роботи,
- виконання модульної контрольної роботи.

## **Політика та контроль**

### **Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)**

**Рекомендовані методи навчання:** вивчення основної та допоміжної літератури за тематикою лекцій, розв'язування проблемних задач на семінарських заняттях, комп'ютерних практикумах та при виконанні домашніх робіт. Важливим аспектом якісного засвоєння матеріалу, відпрацювання методів та

алгоритмів вирішення основних завдань дисципліни є самостійна робота. Вона містить читання літератури, огляд літератури за темою, підготовку до занять та до іспиту.

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

### **1. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (PCO)**

На першому занятті здобувачі ознайомлюються із рейтинговою системою оцінювання (PCO) дисципліни, яка побудована на основі Положення про систему оцінювання результатів навчання [https://document.kpi.ua/files/2020\\_1-273.pdf](https://document.kpi.ua/files/2020_1-273.pdf)

Зокрема, рейтинг здобувача з освітнього компонента формується як сума балів поточної успішності навчання – стартового рейтингу (максимально 50 балів) та екзаменаційних балів (максимально 50 балів).

Поточний контроль: фронтальний (усний\письмовий), МКР; індивідуальне заддання.

Календарний контроль: проводиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу результати якого відображаються в системі Електронний кампус <https://campus.kpi.ua>.

Рейтингова система оцінювання включає всі види тестування: контрольні роботи, виконання індивідуального завдання, відповідь на екзамені. Кожний здобувач отримує свій підсумковий рейтинг по дисципліні.

Рейтинг здобувача з кредитного модуля складається з балів, які він отримує за:

- роботу на практичних заняттях
- написання модульної контрольної роботи;
- виконання індивідуального завдання (РГР);
- відповіді на екзамені (письмової екзаменаційної роботи).

#### *Відповіді під час практичних занять*

Ваговий бал 1 (може бути відкорегований в залежності від кількості запланованих занять)

- якщо задача повністю розв'язана, то здобувач отримує максимальну кількість запланованих балів;
- якщо відповідь правильна, але у розв'язку є неточності, то здобувач отримує 0,5 запланованих балів;
- якщо незадовільна відповідь, метод розв'язування задачі неправильний – 0 балів;

Максимальний бал 10.

#### *Модульна контрольна робота*

Ваговий бал 20

Критерії оцінювання

- повна відповідь на всі завдання (більше 90% матеріалу) 18 – 20 балів;
- неповна відповідь на завдання (від 50 до 90% матеріалу) - 10 – 17 балів;
- відповідь містить менше 50 % необхідної інформації – 0-9 балів;

Максимальний бал 20

#### *Індивідуальне завдання (Розрахунково-графічна робота)*

Ваговий бал 20

Критерії оцінювання

- повна відповідь на всі завдання (більше 90% матеріалу) 18 – 20 балів;
- неповна відповідь на завдання (від 50 до 90% матеріалу) - 10 – 17 балів;
- відповідь містить менше 50 % необхідної інформації – 0-9 балів;

Виконання РГР може бути замінено на підготовку тез на наукову конференцію.

Максимальний бал 20

#### *Умови допуску до екзамену.*

Умовою допуску до екзамену є стартовий рейтинг не менше 30 балів. Здобувач, який в кінці навчального семестру мають менше балів до екзамену не допускаються і повинні виконати додаткові завдання до першого перскладання.

Форма семестрового контролю – іспит

На екзамені студенти виконують письмову контрольну роботу. Кожне завдання містить два теоретичних запитання (завдання) і одне практичне. Кожне теоретичне запитання (завдання) оцінюється у 15 балів, а практичне у 20 балів за такими критеріями:

- «відмінно», повна відповідь, не менше 90% потрібної інформації, що виконана згідно з вимогами до рівня «умінь», (повне, безпомилкове розв'язування завдання) – 14-15; 18-20 балів;
- «добре», достатньо повна відповідь, не менше 75% потрібної інформації, що виконана згідно з вимогами до рівня «умінь» або є незначні неточності (повне розв'язування завдання з незначними неточностями) – 11-13; 16-17 балів;
- «задовільно», неповна відповідь, не менше 60% потрібної інформації, що виконана згідно з вимогами до рівня «умінь» та деякі помилки (завдання виконане з певними недоліками) – 9-10; 10-15 балів
- «незадовільно», відповідь не відповідає умовам до «задовільно» – 0 балів.

Сума стартових балів та балів за екзамен переводиться до екзаменаційної оцінки згідно з таблицею:

100...95	Відмінно
94...85	Дуже добре
84...75	Добре
74...65	Задовільно
64...60	Достатньо
Менше 60	Незадовільно
Стартовий рейтинг менше 30 балів	Не допущено



У випадку дистанційної форми навчання у PCO відбуваються наступні зміни:

- Контрольні заходи проводяться дистанційно із застосуванням електронної пошти, Telegram, Zoot та освітньої платформи Moodle, зокрема у вигляді тестових контрольних робіт.
- Максимальну суму вагових балів контрольних заходів протягом семестру  $R_C$  встановлюється на рівні 50 балів.
- Допусковий бал до екзамену  $R_D$  встановлюється на рівні 30 балів.
- Сума балів  $R_I$ , набрана протягом семестру згідно затвердженого PCO, повідомляється на останньому практичному занятті.
- У разі не отримання студентом допускового балу, йому надається можливість підвищити  $R_I$  шляхом проведення додаткових контрольних заходів до допускового
- Рівень набуття передбачених навчальною програмою компетентностей визначається на підставі проведених заходів поточного контролю.
- Екзаменаційна оцінка може бути виставлена «автоматом» за формулою шляхом перерахунку стартових балів за 100-бальною шкалою:

$$R = 60 + \frac{40(R_I - R_D)}{R_C - R_D}$$

Переводиться до екзаменаційної оцінки згідно з таблицею

100...95	Відмінно
94...85	Дуже добре
84...75	Добре
74...65	Задовільно
64...60	Достатньо
Менше 60	Незадовільно

**Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):**

Складено професором кафедри МФ та ДР, докт. фіз.-мат. наук, професором Швецем О.Ю.

**Ухвалено** кафедрою МФ та ДР (протокол № 8 від 23.06.2024 р.)

**Погоджено** Методичною комісією ФМФ (протокол № 10 від 25.06.2024 р.)