



## ДЕТЕРМІНОВАНИЙ ХАОС У НЕІДЕАЛЬНИХ ДИНАМІЧНИХ СИСТЕМАХ

### Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

#### Реквізити навчальної дисципліни

|   |  |
|---|--|
| Рівень вищої освіти                         | Другий (магістерський)   |
| Галузь знань                                | 11 Математика та статистика  |
| Спеціальність                               | 111 Математика   |
| Освітня програма                            | Страхова та фінансова математика   |
| Статус дисципліни                           | Вибіркова  |
| Форма навчання                              | очна(денна)  |
| Рік підготовки, семестр                     | 2 курс осінній семестр   |
| Обсяг дисципліни                            | 120/ 4 кредити, лекції 36 годин, практичні 18 годин  |
| Семестровий контроль/ контрольні заходи     | Залік, МКР, ДКР  |
| Розклад занять                              | <a href="http://rozklad.kpi.ua/Schedules/ScheduleGroupSelection.aspx">http://rozklad.kpi.ua/Schedules/ScheduleGroupSelection.aspx</a>  |
| Мова викладання                             | Українська   |
| Інформація про керівника курсу / викладачів | Лектор: Швець Олександр Юрійович, професор кафедри математичної фізики та диференціальних рівнянь ФМФ, доктор фіз.-мат. наук<br><a href="mailto:aleksandrshvetskpi@gmail.com">aleksandrshvetskpi@gmail.com</a> , <a href="mailto:chaos.kpi.ua">chaos.kpi.ua</a><br>Практичні: Швець Олександр Юрійович, професор кафедри математичної фізики та диференціальних рівнянь ФМФ, доктор фіз.-мат. наук <a href="mailto:aleksandrshvetskpi@gmail.com">aleksandrshvetskpi@gmail.com</a> , <a href="mailto:chaos.kpi.ua">chaos.kpi.ua</a> |
| Розміщення курсу                            | <a href="http://chaos.kpi.ua">chaos.kpi.ua</a> , інформаційні ресурси в бібліотеці   |

#### Програма навчальної дисципліни

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

Метою навчальної дисципліни є формування у студентів інтегральної компетентності — здатності до логічного мислення, формування особистості студентів; розвиток їх інтелекту і здібностей; здатності вирішувати складні спеціалізовані задачі в галузі математики, механіки, фізики, економіки тощо

Програмні компетентності:

#### Загальні компетентності (ЗК)

**ФК 9** Здатність до самоосвіти та підвищення кваліфікації на основі інноваційних підходів у сфері математики

**ФК 17** Спроможність займатись науковою та дослідницькою діяльністю, використовуючи при цьому новітні технології та інноваційні підходи у сфері математики

**ФК 18** Здатність використовувати інформаційно-комунікаційні технології та спеціалізоване програмне забезпечення у навчальному процесі.

#### Програмні результати навчання

РН 10 Уміти самостійно планувати виконання дослідницького та/або інноваційного завдання та формулювати висновки за його результатами

РН 12 Використовувати раціональні способи пошуку та використання науковотехнічної інформації, включаючи засоби електронних інформаційних мереж; застосовувати інформаційні ресурси, у тому числі електронні, для пошуку відповідних математичних моделей

РН 16 Уміти здійснювати раціональний вибір відповідних методів, прийомів та алгоритмів з використанням інформаційних технологій для розв'язання організаційно-управлінських задач

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

Викладається в одинадцятому семестрі на базі математичного аналізу, диференціальних рівнянь, динамічних систем та детермінованого хаосу.

### 3. Зміст навчальної дисципліни

1. Біфуркації регулярних атракторів неідеальних систем.
2. Дослідження хаотизації різноманітних неідеальних динамічних систем.

### 4. Навчальні матеріали та ресурси

#### Основна література

1. Швець О.Ю. Динамічні системи, [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності - Електронні текстові дані (1 файл: 36,3 Мбайт). - Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. - 345 с. (доступ <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/42838>)
2. Краснопольская Т.С., Швець А.Ю. Регулярная и хаотическая динамика систем с ограниченным возбуждением, М-Иж: РХД, 2008. - 280 с.
3. Deterministic Chaos [Електронний ресурс]. – Київ: НТУУ КПІ, 2009 – 2021. – Режим доступу: <http://chaos.kpi.ua> – Навчальні публікації.

#### Додаткова література

4. Анищенко В.С., Вадивасова Т.Е., Астахов В.В. Нелинейная динамика хаотических и стохастических систем., Саратов, 1999. – 368 с.
5. Кононенко В.О. Колебательные системы с ограниченным возбуждением, М.: Наука, 1964. – 254 с.
6. Кузнецов С.П. Динамический хаос, М. : Физматлит, 2006. – 320 с.
7. Магницкий Н.А., Сидоров С.В. Новые методы хаотической динамики, М: Едиториал УРСС, 2010. - 320 с.
8. Справочник по Wolfram Mathematica 7/8/9, [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://kobrinig.ru/mathematica>.
9. CoPlot Software for Great Scientific Graphs, Maps, and Technical Drawings, [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.cohort.com/coplot.html#description>.
10. Shvets A. Yu., Sirenko V. A. Scenarios of Transitions to hyperchaos in Nonideal Oscillating Systems, Journal of Mathematical Sciences, Vol. 243, No. 2, November, 2019.

#### Навчальний контент

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

Лекції з навчальної дисципліни та деякі практичні заняття проводяться з використанням сучасних інформаційних технологій та технічних засобів (ноутбук з відповідним пакетом оригінального програмного забезпечення, комп'ютерний проектор, тощо). При проведенні лекційних та практичних занять у очній формі повинен бути забезпечений вільний доступ до мережі Internet. При дистанційній формі навчання використовуються платформи Zoom та Webex.

#### Перелік лекцій

*Лекція 1. Поняття неідеальної динамічної системи.*

Дослідження А. Зоммерфельда та С.П. Тимошенка. Означення неідеальної динамічної системи за В.О. Кононенко

*Лекції 2-3. Біфуркації граничних циклів та інваріантних торів.*

Біфуркація «хвіст ластівки» та «сідло-вузлова біфуркація граничних циклів. Біфуркація народження інваріантного тора. Біфуркації «інваріантний тор – резонансний цикл»

*Лекція 4. Неідеальні маятникові системи.*

Ідеальні та неідеальні маятникові системи. Роль маятникових систем у сучасному моделюванні динамічних процесів. Стабілізація верхнього положення рівноваги маятника та застосування цього ефекту в аеронавтиці.

*Лекції 5-7. Неідеальна система «плоский маятник – джерело збудження обмеженої потужності».*

Побудова математичної моделі системи. Аналітичні дослідження існування та стійкості положень рівноваги. Виникнення детермінованого хаосу в системі «плоский маятник – джерело збудження обмеженої потужності». Неідеальність системи, як визначальний чинник її хаотизації. Дослідження спектрів ЛХП, фазових портретів, перерізів та відображень Пуанкаре. Сценарії переходу від регулярних атракторів до хаотичних. Побудова розподілів природних інваріантних мір по фазовому портрету атратора. Фур'є-спектри системи. Ідентифікація сценарію переходу до хаосу за допомогою фазо-параметричних характеристик.

*Лекції 8-9. Неідеальна система «сферичний маятник – джерело збудження обмеженої потужності».*

Математична модель системи. Виникнення детермінованого хаосу. Вивчення різних типів граничних множин. Максимальні атрактори. Сценарії переходу від регулярних максимальних атракторів до хаотичних. Узагальнена переміжність. Типи перерізів Пуанкаре та Фур'є-спектрів системи. Неможливість виникнення детермінованого хаосу в ідеальній системі.

*Лекції 10-11. Неідеальна динамічна система «п'єзокерамічний перетворювач – LC генератор».*

Виведення математичної моделі. Неможливість існування детермінованого хаосу при ідеальному збудженні. Дослідження стійкості за Ляпуновим положень рівноваги. Побудова спектру ЛХП та фазопараметричних характеристик. Ідентифікація хаотичності атракторів. Існування інваріантних торів. Типи хаотичних атракторів. «Квазістрічкові та цілком хаотичні» перерізи Пуанкаре. Карти динамічних режимів. Виникнення гіперхаосу.

*Лекції 12-16. Динамічна система «бак з рідиною – джерело збудження обмеженої потужності».*

Модель Майлса-Краснопольської системи «бак з рідиною – горизонт тальне збудження платформи баку». Зв'язок з маятниковими моделями. Побудова фазопараметричних характеристик, спектрів ЛХП та карт динамічних режимів. Виникнення інваріантних торів, хаотичних та гіперхаотичних атракторів. Однододові та двомодові хаотичні атрактори. Різноманітність сценаріїв переходу до хаосу та різноманітність перерізів Пуанкаре. Випадок параметричного резонансу. Неідеальність збудження, як головний чинник виникнення детермінованого хаосу. Некласичні граничні множини. Максимальні регулярні та хаотичні атрактори. Дослідження спектрів ЛХП, фазових портретів, перерізів та відображень Пуанкаре системи.

*Лекції 17-18. Нові сценарії переходу до хаосу.*

Узагальнення «класичних» сценаріїв переходу до хаосу. Сценарій узагальненої переміжності. Симетричні сценарії переходу до хаосу. Переміжність з двома «грубо ламінарними» фазами. Нові сценарії переходу «хаос-хаос», «хаос-гіперхаос» та «гіперхаос-гіперхаос».

#### **Перелік (орієнтовно) практичних занять**

*Практичні заняття 1. Візуалізація динамічних систем за допомогою програмного пакета «Математика – Вольфрам».*

*Практичні заняття 2. Візуалізація динамічних систем за допомогою програмного пакета “СОПЛОТ”.*

*Практичні заняття 3. Система «маятник – джерело збудження обмеженої потужності».*

*Практичне заняття 4. Система «сферичний маятник – джерело збудження обмеженої потужності».*

*Практичні заняття 5. Система «п'єзокерамічний перетворювач – LC генератор»*

*Практичні заняття 6. Система «бак з рідиною – джерело збудження обмеженої потужності».*

*Практичні заняття 7. Нові сценарії переходу до хаосу.*

*Практичне заняття 8. МКР*

*Практичне заняття 9. Залік*

## **6. Самостійна робота студента**

Види самостійної роботи – опрацювання лекційного матеріалу, підготовка до аудиторних занять, МКР, виконання ДКР.

### **Політика та контроль**

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

#### **Академічна доброчесність**

Політика та принципи академічної доброчесності визначені у розділі 3 Кодексу честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Детальніше: <https://kpi.ua/code>

#### **Норми етичної поведінки**

Норми етичної поведінки студентів і працівників визначені у розділі 2 Кодексу честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Детальніше: <https://kpi.ua/code>

## **8. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (РСО)**

**Поточний контроль:** експрес-опитування, опитування за темою заняття, написання МКР, захист ДКР.

**Календарний контроль:** провадиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силябусу.

**Семестровий контроль:** залік.

#### **Відповіді під час практичних занять**

Ваговий бал 5.

- якщо повністю розкрита відповідь, то студент отримує 5 балів;
- якщо відповідь неповна, незрозуміла, то студент отримує 1-4 балів;
- якщо відповіді немає – 0 балів

Максимальний бал 20

#### **Модульна контрольна робота**

Ваговий бал 50

Критерії оцінювання

- повна відповідь на всі завдання (більше 90% матеріалу) 46-50 балів;
- неповна відповідь на завдання (від 50 до 90% матеріалу) – 26-45 балів;
- відповідь містить менше 50 % необхідної інформації – 0-25 балів;

Максимальний бал 50

Розрахунково-графічна робота

Ваговий бал 30

Критерії оцінювання від % готовності роботи.

Максимальний бал 30

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:

| <i>Кількість балів</i> | <i>Оцінка</i> |
|------------------------|---------------|
| 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 математичної фізики та диференціальних рівнянь ФМФ, доктором фіз.-мат. наук емвець О.Ю.

**Ухвалено** кафедрою математичної фізики та диференціальних рівнянь (протокол № 11 від 22.06.2023 р.)

**Погоджено** Методичною комісією ФМФ (протокол № 10 від 27.06.2023 р.)