

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА

Механіко-математичний факультет

(назва факультету, інституту, центру, коледжу)

Кафедра геометрії, топології і динамічних систем



(Харитонов О.М.)

2020 року

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ  
Методи комп'ютерного аналізу динамічних систем

(повна назва навчальної дисципліни)

для студентів

галузь знань	11 «Математика та статистика»
спеціальність	113 «Прикладна математика»
освітній рівень	другий (магістерський)
освітньо-наукова програма	«Комп'ютерна механіка»
вид дисципліни	вибіркова

Форма навчання	<u>денна</u>
Навчальний рік	<u>2020/2021</u>
Семестр	<u>3</u>
Кількість кредитів ECTS	<u>5</u>
Мова викладання, навчання та оцінювання	<u>українська</u>
Форма заключного контролю	<u>іспит</u>

Викладачі: професор І.О. Парасюк

Пролонговано: на 20<sup>21</sup>/20<sup>22</sup> н.р. О. Харитонов «31» серпня 20<sup>21</sup> р.  
(підпис, ПІБ, дата)  
на 20\_\_/20\_\_ н.р. (\_\_\_\_\_) «\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.  
(підпис, ПІБ, дата)

КИЇВ – 2020

Розробник(и): Парасюк І.О., д.ф.-м.н., професор, завідувач кафедри геометрії, топології і динамічних систем

ЗАТВЕРДЖЕНО

Зав. кафедри геометрії, топології і динамічних систем

 (Парасюк І.О.)

Протокол № 1 від 28.08 2020 р.

Схвалено науково-методичною комісією механіко-математичного факультету

Протокол № 1 від 31 серпня 2020 року

Голова науково-методичної комісії  (Олійник А.С.)  
(підпис) (прізвище та ініціали)

« 31 » серпня 2020 року

**1. Мета дисципліни** – ознайомлення з основними поняттями та положеннями теорії динамічних систем, сучасною проблематикою досліджень у цій галузі знань, оволодіння базовими теоретичними та практичними методами аналізу динамічних систем за допомогою комп'ютерної техніки.

## **2. Попередні вимоги до опанування або вибору навчальної дисципліни**

1. *Знати* основні поняття, факти і теореми математичного аналізу, теорії груп, теорії диференціальних рівнянь, загальної топології, диференціальної геометрії, диференціальної топології та програмування.

2. *Вміти* активно використовувати та творчо застосовувати зазначені вище знання в процесі опрацювання матеріалу курсу «Методи комп'ютерного аналізу динамічних систем», аналізі низки об'єктів теорії динамічних систем.

3. *Володіти елементарними навичками* дослідження збіжності послідовностей в топологічних, зокрема, метричних просторах, визначення замкненості, відкритості, компактності множин в топологічних просторах, аналізу властивостей окремих типів відображень та їх ітерацій, реалізації алгоритмів у вигляді програмного коду.

**3. Анотація навчальної дисципліни.** Навчальна дисципліна «Методи комп'ютерного аналізу динамічних систем» є складовою освітньої програми підготовки фахівців за освітнім рівнем «магістр» галузі знань 11 – «Математика та статистика» зі спеціальності 113 – «Прикладна математика» освітньої програми «Комп'ютерна механіка». Дана дисципліна є вибірковою.

В курсі лекцій «Методи комп'ютерного аналізу динамічних систем» висвітлюються базові відомості, поняття, факти топологічної та диференціальної динаміки. Зокрема, розглядаються: загальні властивості топологічних динамічних систем, граничні множини, блукаючі та неблукаючі множини, мінімальні множини, динаміка гомеоморфізмів та дифеоморфізмів, структурна стійкість і гіперболічність, основи символічної динаміки, динаміка одновимірних відображень, хаотичні відображення.

Викладається у 3 семестрі 2 курсу в обсязі **150 год. (5 кредитів ECTS<sup>1</sup>)** зокрема: *лекції – всього 32 год., лабораторних занять –16 год., самостійна робота – 100 год, консультації 2 год.* У курсі передбачено 2 змістових модулі та 2 модульні контрольні роботи. Завершується дисципліна **іспитом.**

**4. Завдання (навчальні цілі).** Формування здатності розв'язувати складні математичні задачі задачі та практичні проблеми у професійній діяльності або у процесі навчання, що передбачає проведення досліджень та/або здійснення інновацій і характеризується комплексністю та/або невизначеністю умов; набуття знань, умінь та навичок (компетентностей) на рівні новітніх досягнень у математиці, відповідно до освітнього рівня «магістр». Зокрема, професійне оволодіння компетентностями:

- 1) Здатність учитися, здобувати нові знання, уміння, у тому числі в галузях, відмінних від хвилевої механіки (ЗК-1);
- 2) Здатність використовувати у професійній діяльності знання з галузей математичних, природничих, соціально-гуманітарних та економічних наук (ЗК-2);

---

<sup>1</sup> кредитів ECTS – кредит кратний 30 годинам.

- 3) Здатність вирішувати проблеми у професійній діяльності на основі абстрактного мислення, аналізу, синтезу та прогнозу (ЗК-3);
- 4) Здатність спілкуватися державною мовою і усно, і письмово (ЗК-8);
- 5) Здатність грамотно будувати комунікацію, виходячи з мети і ситуації спілкування (ЗК-10);
- 6) Здатність критично оцінювати та переосмислювати власний і чужий досвід, аналізувати свою професійну й соціальну діяльність (ЗК-11);
- 7) Знання на рівні новітніх досягнень, необхідні для дослідницької та/або інноваційної діяльності у сфері прикладної математики і комп'ютерної механіки та їх практичних застосувань (ФК-1);
- 8) Спроможність розуміти проблеми та виділяти їхні суттєві риси (ФК-4);
- 9) Спроможність розробляти математичну модель ситуації з реального світу та переносити математичні знання у нематематичні контексти (ФК-5);
- 10) Здатність доводити знання та власні висновки до фахівців та нефаківців (ФК-6);
- 11) Здатність самостійно розробляти проекти шляхом творчого застосування існуючих та генерування нових ідей прикладної та теоретичної механіки та механіки суцільних середовищ (ФК-7);
- 12) Здатність до розвитку нових та удосконалення існуючих методів аналізу, моделювання, прогнозування, розв'язування нових проблем у нових галузях знань (ФК-8);
- 13) Здатність до самоосвіти та підвищення кваліфікації на основі інноваційних підходів у сфері прикладної математики (ФК-10);
- 14) Володіння знаннями та здатність ініціювати й проводити наукові дослідження у спеціалізованій області прикладної математики (ФК-12).

#### 5. Результат навчання за дисципліною.

Табл.1

Результат навчання (1. знати; 2. вміти; 3. комунікація; 4. автономність та відповідальність)		Форми (та/або методи і технології) викладання і навчання	Методи оцінювання та пороговий критерій оцінювання (за необхідності)	Відсоток у підсум- ковій оцінці з дисциплі- ни
Код	Результат навчання			
PH1.1	Знати: означення неперервної та дискретної динамічної системи, руху, орбіти (траєкторії), точки спокою, циклу, інваріантної множини, означення граничної множини та її властивості, означення стійкості за Лагранжем та Пуассоном.	<i>Лекції, самостійна робота</i>	<i>Іспит, активна робота на лекції, усні відповіді</i>	5%
PH1.2	Знати: означення та властивості множини неблукаючих точок, центру та мінімальної множини динамічної системи, рекурентного руху			5%
PH1.3	Знати: основні властивості дифеоморфізмів та гомеоморфізми кола; поняття спряженості, еквівалентності потоків та дифеоморфізмів; конструкцію відображення Пуанкаре, надбудови (підвіски)			5%
PH1.4	Знати поняття структурної стійкості, дифеоморфізму Аносова, гіперболічної структури, системи Морса-Смейла, конструкцію підкови Смейла			5%
PH1.5	Знати: основні факти з динаміки одновимірних відображень; явище біфуркації подвоєння періоду; порядок Шарковського; поняття про			5%

	хаотичні відображення, фрактали.			
PH2.1.	Уміти будувати потоки, породжені інтегровними автономними системами та описувати граничні множини динамічних систем	<i>Лабораторне заняття, самостійна робота</i>	<i>Контрольна робота 1 (60% правильних відповідей), розв'язання задач на лабораторних заняттях виконання завдань, винесених на самостійну роботу, іспит</i>	8%
PH2.2.	Уміти визначати наявність та тип стійкості за Лагранжем та Пуассоном у конкретних динамічних систем; доводити критерії зазначених типів стійкості			8%
PH2.3.	Уміти визначати наявність та описувати структуру множин неблукаючих точок, центрів, мінімальних множин, рекурентних рухів			7%
PH2.4.	Уміти проводити якісний аналіз одновимірних дискретних динамічних систем, зокрема каскадів на колі.			21%
PH2.5.	Уміти досліджувати окремі типи потоків та дифеоморфізмів на предмет топологічної еквівалентності, гіперболічності та структурної стійкості. Володіти базовими принципами символічної динаміки			22%
PH3.1.	Здатність грамотно будувати комунікацію, виходячи з мети і ситуації спілкування	<i>Лекції, лабораторне заняття</i>	<i>Активна робота на лекції, усні відповіді</i>	3%
PH3.2.	Вироблення навиків командної роботи			2%
PH4.1.	Самостійно шукати та критично опрацьовувати літературу із відповідних розділів (вказати дисципліну), володіти методами обробки, аналізу та синтезу наукової інформації	<i>Самостійна робота</i>	<i>Виконання завдань, винесених на самостійну роботу</i>	2%
PH4.2.	Відповідально ставитися до виконуваних робіт, нести відповідальність за їх якість.			2%

## 6. Співвідношення результатів навчання дисципліни з програмними результатами

Табл.2

Результати навчання (код)	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	3.1	3.2	4.1	4.2
<b>Програмні результати навчання</b>														
<b>КС-1.</b> Демонструвати знання й розуміння основних концепцій, принципів, теорій фундаментальної та прикладної математики і використовувати їх на практиці;	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<b>КС-2.</b> Володіти основними положеннями та методами механіки, чисельними методами, методами дослідження операцій, методами комп'ютерного моделювання;	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<b>КС-4.</b> Поєднувати методи математичного та комп'ютерного моделювання з неформальними процедурами експертного аналізу для пошуку оптимальних рішень.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

<b>КС-5.</b> Будувати ефективні щодо точності обчислень, стійкості, швидкодії та витрат системних ресурсів алгоритми для чисельного дослідження математичних моделей та розв'язання практичних задач;							+	+	+	+	+	+	+	+
<b>КС-6.</b> Вибирати раціональні методи та алгоритми розв'язання математичних задач оптимізації, дослідження операцій, оптимального керування і прийняття рішень, аналізу даних.							+	+	+	+	+			
<b>КС-7.</b> Уміти застосовувати сучасні технології програмування та розроблення програмного забезпечення, програмної реалізації чисельних і символьних алгоритмів.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<b>КС-8.</b> Розв'язувати окремі задачі механіки та задачі в міждисциплінарних галузях — соціології, економіці, екології та медицині.							+	+	+	+	+			
<b>КС-9.</b> Використовувати в практичній роботі спеціалізовані програмні продукти та програмні системи комп'ютерної механіки.							+	+	+	+	+			
<b>ЦМС-1.</b> Виявляти здатність до самонавчання та професійного розвитку;													+	+
<b>ЦМС-2.</b> Уміти організувати власну діяльність та одержувати результат у рамках обмеженого часу;													+	+
<b>ЦМС-4.</b> Уміти здійснювати збір, опрацювання, аналіз, систематизацію науково-технічної інформації, уникаючи при цьому плагіату;													+	+
<b>ЦМС-5.</b> Ефективно спілкуватися з питань інформації, ідей, проблем та рішень зі спеціалістами та суспільством загалом;												+	+	
<b>ЦМС-7.</b> Демонструвати навички професійного спілкування, включаючи усну та письмову комунікацію українською мовою та принаймні ще однією з поширених європейських мов.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		

## 7. Схема формування оцінки

### 7.1 Форми оцінювання студентів:

#### - оцінювання впродовж навчального періоду:

1. Активна робота на лекційних заняттях та виконання домашніх завдань: РН1.1–РН1.5, РН3.1, РН3.2– 9 балів/ 7 балів;
2. Виконання завдань, винесених на самостійну роботу: РН2.1-РН 2.5, РН4.1, РН4.2 – 13 балів/7 бали;
3. Контрольна робота 1: РН1.1-РН1.3, РН2.1-РН2.3 – 13 балів/7 балів;
4. Контрольна робота 2: РН1.4, РН1.5, РН2.4, РН2.5 – 13 балів/7 балів;
5. Розв'язання задач на лабораторних заняттях: РН2.1-РН2.5, РН3.1, РН3.2– 12 балів/7 балів;

**- підсумкове оцінювання: іспит.**

- *максимальна кількість балів, які можуть бути отримані: 40 балів;*
- *результати навчання, які будуть оцінюватись: РН1.1–РН1.5, РН 2.1-РН2.5;*
- форма проведення і види завдань: письмова робота.*

**7.2. Організація оцінювання:**

Активна робота на лекціях передбачає успішне проходження опитувань, що проводяться на лекціях, відповіді на запитання лектора в ході пояснення матеріалу, розв'язування вправ, що здаються викладачем на лекціях.

Критично-розрахунковий мінімум балів за навчання становить **20** балів, рекомендований мінімум, розрахований з урахуванням специфіки дисципліни становить **35** балів. Студенти, які протягом навчання набрали сумарно меншу кількість балів ніж рекомендований мінімум **35** балів для добору балів до 35 отримують можливість написати додаткову контрольну роботу та доскласти завдання самостійної роботи. Студенти, які набрали впродовж навчання та за рахунок додаткових етапів оцінювання сумарно меншу кількість балів ніж критично-розрахунковий мінімум – **35** балів, до складання іспиту не допускаються.

У випадку відсутності студента з поважних причин відпрацювання та перескладання форм контролю здійснюються у відповідності до „Положення про організацію освітнього процесу в Київському національному університеті імені Тараса Шевченка” (2018), <http://www.univ.kiev.ua/pdfs/official/Organization-of-the-educational-process.pdf>.

Форма іспиту – письмова. Екзаменаційний білет складається із 4 задач. Кожне завдання оцінюється від 0 до 10 балів. Всього за іспит можна отримати від 0 до 40 балів. Мінімальна кількість балів, які додаються до отриманих під час навчання – 24 бали. Якщо оцінка студента на іспиті є нижчою від мінімального порогового рівня (24 бали), то бали за іспит не додаються до семестрової оцінки (вважаються рівними нулю), а підсумкова оцінка із дисципліни є незадовільною.

**Терміни проведення форм оцінювання:**

- 1. Модульна контрольна робота №1: на 7-му тижні семестру.*
- 2. Модульна контрольна робота №2: на 13-му тижні семестру.*
- 4. Оцінювання завдань самостійної роботи на на 13-му тижні семестру.*

**7.3 Шкала відповідності оцінок**

<b>Відмінно/ Excellent</b>	90 – 100
<b>Добре/ Good</b>	75 – 89
<b>Задовільно/ Satisfactory</b>	60 – 74
<b>Не задовільно/ Fail</b>	0 – 59

## 8. Структура навчальної дисципліни. Тематичний план занять

№ п/п	Назва теми	Кількість годин		
		Лекції	Лабораторні заняття	самост. робота
<b>Змістовий модуль 1</b>				
<b>Вступ до топологічної динаміки</b>				
1	Тема 1. Означення та загальні властивості топологічних динамічних систем. <i>Передумови виникнення теорії динамічних систем. Динамічні системи, породжені однопараметричними групами перетворень. Базові властивості динамічних систем, породжених однопараметричними групами гомеоморфізмів. Класифікація рухів і траєкторій. Нерухомі точки, інваріантні множини.</i>	4	2	12
2	Тема 2. Граничні властивості динамічних систем. <i>Граничні точки, граничні множини. Стійкість за Лагранжем. Стійкість за Пуассоном. Неблужаючі точки. Властивості множини неблужаючих точок.</i>	6	4	10
3	Тема 3. Мінімальні множини і рекурентні рухи. <i>Означення та властивості мінімальної множини. Майже рекурентні та рекурентні рухи. Зв'язок між мінімальними множинами та рекурентними рухами.</i>	4	2	16
Модульна контрольна робота 1				
<b>Змістовий модуль 2</b>				
<b>Основи теорії гладких динамічних систем. Вступ до хаотичної динаміки</b>				
4	Тема 4. Дiffeоморфізми і потоки. <i>Елементарна динаміка дифеоморфізмів. Дiffeоморфізми та гомеоморфізми кола. Спряженість, еквівалентність потоків та дифеоморфізмів. Відображення Пуанкаре. Набудова (підвіска)</i>	6	2	16
5	Тема 5. Структурна стійкість і гіперболічність. <i>Локальна структурна стійкість. Огляд: Потоки на двовимірних многовидах. Дiffeоморфізми Аносова. Гіперболічність. Гомоклінічна структура. Підкова Смейла. Поняття про символну динаміку.</i>	4	2	14
6	Тема 6. Динаміка одновимірних відображень. <i>Ітеровані відображення. Біфуркація подвоєння періоду. Періодичні точки. Порядок Шарковського.</i>	4	2	16
7	Тема 7. Хаос <i>Поняття про хаотичні відображення. Транзитивність. Чутливість. Приклади хаотичних відображень. Атрактор Лоренца. Хаос і фрактали.</i>	4	2	16
Модульна контрольна робота 2				
	<b>ВСЬОГО</b>	<b>32</b>	<b>16</b>	<b>70</b>



Загальний обсяг 150 год., в тому числі:  
Лекцій – 32 год.  
Лабораторні заняття – 16 год.  
Самостійна робота -100 год.  
Консультації – 2 год.

## 9. Рекомендовані джерела

### Основні:

1. Сибирский К.С., Введение в топологическую динамику. – Кишинёв: АН МССР, 1970.
2. Brin M., Stuck G. Introduction to Dynamical Systems. Cambridge-N-Y-Melbourne: Cambridge University Press, 2002.
3. Нитецки З. Введение в дифференциальную динамику. – М.: Мир, 1975.
4. Arrowsmith D.K, Place C.M. An Introduction to Dynamical Systems. . Cambridge-N-Y-Melbourne: Cambridge University Press. – 2001.
5. Irwin M.C. Smooth dynamical systems. — Singapore – New Jersey – London – Hong Kong: World Scientific, 2001.
6. Crownover R.M. Introduction to Fractals and Chaos. Boston-London: Johns and Barlett Publishers, 1999 (Кроновер Р.М. Фракталы и хаос в динамических системах. Основы теории. М.: Постмаркет, 2000).

### Додаткові:

1. Динамические системы I-V. Серия «Современные проблемы математики. Фундаментальные направления. (Итоги науки и техники. ВИНТИ АН СССР)». Москва, 1985-1986.
2. Немыцкий В.В., Степанов В.В. Качественная теория дифференциальных уравнений. – М. – Л.: Гостехиздат, 1949.
3. Devaney R.L. An introduction to Chaotic Dynamical Systems. – Addison-Wesley Publishing Company, Inc., 1989.
7. Шарковский А.Н., Коляда С.Ф., Сивак А.Г., Федоренко В.В. Динамика одномерных отображений. – К.: Наукова думка, 1989.
4. Палис Ж., ди Мелу В. Геометрическая теория динамических систем – М.: Мир, 1986.
5. Каток А. Б., Хассельблат Б. Введение в теорию динамических систем с обзором последних достижений – М.: МЦНМО, 2005
6. Парасюк І.О., Перестюк М.О. Локальний аналіз нелінійних диференціальних рівнянь. – Кам'янець-Подільський: Аксиома, 2013.