

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА

МЕХАНІКО-МАТЕМАТИЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
Кафедра теоретичної та прикладної механіки

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Заступник декана
з навчальної роботи



Безущак Безущак О.О.

«25» вересня 2018 року

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ
ТЕОРІЯ ХАОСУ

для здобувачів освітньо-наукового рівня «доктор філософії»

галузь знань	11 «Математика та статистика»
спеціальність	112 «Статистика»
освітній рівень	третій (освітньо-науковий)
освітньо-наукова програма	«Статистика»
вид дисципліни	вибіркова

Форма навчання	денна
Навчальний рік	2018/2019
Рік навчання	2
Кількість кредитів ECTS	4
Мова викладання, навчання та оцінювання	українська
Форма заключного контролю	екзамен

Викладачі: професор Жук Ярослав Олександрович, д.ф.-м.н.

Пролонговано: на 20 *19* 20*20* н.р. *Безущак* *Безущак* «18» вересня 2019р.
на 20 *20* 20*21* н.р. *Безущак* *Безущак* «14» вересня 2020р.

КИЇВ – 2018

Розробник: Розробник: **Жук Ярослав Александрович**, д. ф.-м. н., проф., завідувач кафедри теоретичної та прикладної механіки

ЗАТВЕРДЖЕНО

Завідувач кафедри теоретичної та прикладної механіки



Жук Я.О.

(підпис)

Протокол № 1 від «06» 09 2018 р.

Схвалено науково-методичною комісією механіко-математичного факультету

Протокол від «12» 09 2018 року № 1

Голова науково-методичної комісії  проф., д.ф.-м.н. Курченко О.О.
(підпис)

1. Мета дисципліни

Розвиток навичок розв'язання комплексних проблем в галузі статистики, використання новітніх інформаційних і комунікаційних технологій, здатності до абстрактного мислення, здатності до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел, вміння генерувати нові ідеї, навичок роботи в міжнародному науковому просторі, навичок формулювання дослідницьких задач з статистики, навичок розробки наукових проектів та керування ними, навичок спілкування на професійні теми з неспеціалістами у галузі статистики, застосування теоретичних знань до розв'язання прикладних задач, застосування основних методів розв'язання нелінійних задач динаміки та сучасних методів аналітичного та чисельного аналізу динамічних задач механіки, які демонструють нерегулярну «хаотичну» поведінку, що не може бути описана стандартними методами, які викладаються в курсах «Диференціальні рівняння» та «Рівняння математичної фізики» та потребує введення основних понять та методів теорії динамічних систем та якісної теорії диференціальних рівнянь в застосуванні до динамічних задач механіки, в яких частково втрачається інтегрованість, розв'язання комплексних проблем в галузі математики, статистики, механіки, формування теоретичних знань та практичних умінь, що дозволяють будувати, досліджувати і аналізувати математичні моделі процесів і явищ з використанням математичних методів для аналізу математичних моделей сучасного природознавства і техніки, досліджувати адекватність математичних моделей, поширювати методи, розроблені для задач однієї галузі науки на інші галузі.

2. Попередні вимоги до опанування або вибору навчальної дисципліни:

1. *Знати:* основи теорії динамічних систем, методи теорії інтегровності, що використовуються при розв'язанні задач механіки суцільного середовища, теорії пружності та теоретичної механіки; методи аналізу механічних систем, що потенційно демонструють хаотичну поведінку; класичні динамічні моделі, що призводять до хаотичної поведінки; основні методи розв'язання нелінійних задач та особливості їх застосування у випадку консервативних і неконсервативних систем; Знати, розуміти і застосовувати математичні концепції, методи системного аналізу і математичного моделювання.
2. *Вміти:* класифікувати динамічні моделі; вирізняти моделі, що можуть демонструвати несподівану поведінку; використовувати основні теореми динаміки матеріальної системи для побудови ізолювальних інтегралів; знаходити та використовувати закони симетрії лагранжевих та гамільтонових систем для побудови збережених величин та інтегралів руху; будувати канонічні перетворення, та аналізувати поведінку динамічних систем у фазовому просторі; вміти застосовувати основні методи розв'язання нелінійних задач у випадку систем із розподіленими параметрами.

3. Анотація навчальної дисципліни:

Дисципліна «Теорія хаосу» належить до дисциплін вільного вибору аспіранта. Вона забезпечує професійний розвиток, спрямована на формування концептуальних та методологічних знань у галузі статистики, вміння критично аналізувати, оцінювати і синтезувати нові та комплексні ідеї, аналізувати наукові праці, формулювати методологічну базу власного наукового дослідження, самостійно обирати і застосовувати методи різних галузей математики для розв'язання нових задач, розробляти наукові і інформаційно-освітні ресурси для розв'язання задач, пов'язаних з розвитком та використанням математики і статистики, обґрунтовувати достовірність отриманих результатів. В рамках дисципліни вивчаються основні методи і принципи дослідження явища хаосу в механічних системах.

4. Завдання (навчальні цілі): набуття знань, умінь та навичок (компетентностей) на рівні новітніх досягнень у математиці, відповідно науково-освітньої кваліфікації «Доктор філософії». Зокрема, розвивати: вміння формулювати наукову проблему, робочі гіпотези досліджуваної проблеми, які мають розширювати і поглиблювати стан наукових досліджень, аналізувати сучасні передові концептуальні та методологічні знання в напрямку теорії динамічних систем і на межі цієї теорії і інших розділів математики і статистики; вміння реалізовувати математичні методи для моделювання і дослідження характеристик і поведінки складних об'єктів і систем, обґрунтовувати адекватність математичних моделей та достовірність отриманих результатів, здатність формулювати робочі гіпотези досліджуваної проблеми, які мають розширювати і поглиблювати стан наукових досліджень в обраній сфері статистики.

5. Результати навчання за дисципліною:

Результат навчання (РН) (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 підсумковій оцінці з дисципліни
Код	Результат навчання			
РН 1.1	Теорія динамічних систем. Поняття динамічної змінної. Оператор еволюції. Вільні коливання лінійної коливальної системи. Вимушені коливання. Динамічна реалізація. Фазовий портрет.	<i>Лекція, практичне заняття</i>	<i>Контрольна робота 1 (60% правильних відповідей), екзамен, активна робота на лекції, усні відповіді</i>	10%
РН 1.2	Знати структурні властивості фазових траєкторій. Класифікація особливих точок. Поняття стійкості динамічних систем. Стійкість за Лагранжем. Стійкість за Пуанкаре. Стійкість за Ляпуновим.			10%
РН 1.3	Знати поняття фракталів і фрактальної розмірності. Поточечна розмірність. Кореляційна розмірність. Інформаційна розмірність.			10%
РН 1.4	Знати поняття хаосу в дискретних відображеннях та в нелінійних модельних системах. Критерії хаосу.			10%
РН 2.1	Вміти будувати фазові траєкторії динамічних систем, класифікувати особливі точки; фазові траєкторії в псевдо-фазовому просторі.	<i>Лекція, практичне заняття, самостійна робота</i>	<i>Контрольна робота 2 (60% правильних відповідей), екзамен, виконання завдань, винесених на самостійну роботу</i>	20%
РН 2.2	Вміти визначати розмірність Хаусдорфера. Вміти побудувати множину Кантора; знаходити фрактальну розмірність перетину Пуанкаре.			20%
РН 2.3	Вміти знаходити критичні параметри для рівняння Дуффінга, будувати фазовий портрет нелінійного маятника.	<i>Практичне заняття, самостійна робота</i>	<i>Виступ з доповіддю за темою наукового дослідження</i>	5%
РН3.1	Здатність працювати у міжнародному просторі, обґрунтовувати власний погляд на задачу та формулювати робочі гіпотези, спілкуватися з колегами з питань застосування методів та теорій математики, писати наукові роботи			5%
РН4.1	Демонстрація авторитетності, інноваційності, високий ступінь самостійності, академічна та професійна доброчесність, послідовна відданість розвитку нових ідей або процесів у передових контекстах професійної та наукової діяльності.			5%
РН4.2	Відповідально ставитися до виконуваних робіт, нести відповідальність за їх якість			5%

6. Співвідношення результатів навчання дисципліни із програмними результатами навчання

Результати навчання дисципліни Програмні результати навчання	РН 1.1	РН 1.2	РН 1.3	РН 1.4	РН 2.1	РН 2.2	РН 2.3	РН 3.1	РН 4.1	РН 4.2
<i>(з опису освітньої програми)</i>										
ПРН-3-1. Знати праці провідних зарубіжних вчених, наукові школи та фундаментальні праці у галузі дослідження, формулювати мету власного наукового дослідження як складову загально цивілізаційного процесу;	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
ПРН-3-2. Знати принципи фінансування науково-дослідної роботи та структуру кошторисів на її виконання, вміння підготувати запит на отримання фінансування, звітну документацію.								+	+	+
ПРН-3-3. Моніторинг наукових джерел інформації відносно досліджуваної проблеми.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
ПРН-3-4. Визначати методологічні принципи та методи наукового дослідження галузі інформаційних технологій в залежності від об'єкту і предмету, використовуючи міждисциплінарні підходи.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
ПРН-3-5. Використовувати сучасні інформаційні та комунікативні технології при спілкуванні, обміні інформацією, зборі, аналізі, обробці, інтерпретації джерел; здійснювати публікацію джерел;								+	+	+
ПРН-3-6. Знати, розуміти і застосовувати математичні концепції, методи системного аналізу і математичного моделювання.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
ПРН-У-1. Аналізувати сучасні передові концептуальні та методологічні знання в галузі науково-дослідницької та/або професійної діяльності і на межі предметних галузей знань	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
ПРН-У-2. Критичний аналіз, оцінка і синтез нових та складних ідей	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
ПРН-У-5. Аналізувати наукові праці в галузі інформаційних технологій, виявляючи дискусійні та мало досліджені питання								+	+	+
ПРН-У-6. Кваліфіковано відображати результати наукових досліджень у наукових статтях, опублікованих як у фахових вітчизняних виданнях, так і у виданнях, які входять до міжнародних наукометричних баз;	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

ПРН-У-7. Знати, розуміти і самостійно застосовувати методи аналізу предметної області, виявлення математичних потреб і збір даних для проектування;	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
ПРН-У-8. Оцінювати, класифікувати і обґрунтовувати вибір методів формування вимог до статистики, формулювати вимоги;	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
ПРН-У-9. Аналізувати, оцінювати і вибирати сучасні інструментальні та обчислювальні засоби, технології, алгоритмічні і програмні рішення для конкретної задачі в галузі статистики;	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
ПРН-У-10. Формулювати, експериментально підтверджувати, обґрунтовувати і застосовувати на практиці нові конкурентоздатні ідеї, методи, технології розв'язку професійних, науково-технічних задач, в тому числі нестандартних;	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
ПРН-У-11. Розробляти наукові і інформаційно-освітні ресурси для розв'язання професійних задач, пов'язаних з розвитком та використанням статистики;									+	+	+
ПРН-У-12. Розуміти сутність інформації, проводити критичну оцінку кількості і змісту інформації;									+	+	+
ПРН-У-14. Прогнозувати розвиток статистики									+	+	+
ПРН-У-15. Розуміти, аналізувати, цілеспрямовано шукати і вибирати необхідні для рішення професійних наукових задач інформаційно-довідникові та науково-технічні ресурси і джерела знань з урахуванням сучасних досягнень науки і техніки.									+	+	+
ПРН-У-18. Формулювати наукову проблему з огляду на ціннісні орієнтири сучасного суспільства та стан її наукової розробки.									+	+	+
ПРН-У-19. Здійснювати процедуру встановлення інформаційної цінності джерел шляхом порівняльного аналізу з іншими джерелами									+	+	+
ПРН-У-20. Ініціювання наукових проектів в галузі комп'ютерних наук та інформаційних систем, лідерство та повна автономність під час їх реалізації									+	+	+
ПРН-У-21. Демонструвати здатність діяти соціально відповідально та громадянської свідомо і на основі етичних міркувань (мотивів)									+	+	+
ПРН-У-22. Брати участь у визначенні, організації та розподілі групових задач									+	+	+

ПРН-У-23. Оформляти результати досліджень у вигляді статей і доповідей на наукових конференціях.									+	+	+
ПРН-У-24. Демонструвати вміння спілкуватися в діалоговому режимі з широкою науковою спільнотою та громадськістю в певній галузі наукової та/або професійної діяльності									+	+	+
ПРН-У-25. Здатність професійно презентувати результати своїх досліджень на міжнародних наукових конференціях, семінарах, практично використовувати іноземну мову (в першу чергу - англійську) у науковій, інноваційній діяльності та педагогічній діяльності.									+	+	+
ПРН-У-26. Здатність працювати в команді, мати навички міжособистісної взаємодії.									+	+	+
ПРН-У-27. Здатність саморозвиватися і самовдосконалюватися, нести відповідальність за новизну наукових досліджень та прийняття експертних рішень.									+	+	+
ПРН-У-28. Здатність приймати обґрунтовані рішення, мотивувати людей та рухатися до спільної мети.									+	+	+
ПРН-У-29. Працювати зі студентською аудиторією в галузі статистики, вміти організувати їх навчальний процес									+	+	+
ПРН-У-30. Вивчати, узагальнювати та впроваджувати в навчальний процес інновації.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

7. Схема формування оцінки.

7.1. Форми оцінювання здобувачів освітньо-наукового ступеня:

- оцінювання впродовж навчального періоду:

1. Активна робота на лекції, усні відповіді: РН1.1, РН1.2, РН1.3, РН1.4 – 5 балів/3 бали;
2. Виконання завдань, винесених на самостійну роботу: РН2.1, РН2.2 – 5 балів/3 бали;
3. Контрольна робота 1: РН1.1, РН1.2, РН1.3, РН1.4 – 15 балів/9 балів;
4. Контрольна робота 2: РН2.1, РН2.2 – 15 балів/9 балів;
6. Виступ з доповіддю за темою наукового дослідження: РН2.3, РН3.1, РН4.1, РН4.2, – 20 балів/12 балів;

- підсумкове оцінювання: екзамен.

- максимальна кількість балів які можуть бути отримані: 40 балів;
- результати навчання які будуть оцінюватись: РН1.1, РН1.2, РН1.3, РН1.4, РН2.1, РН2.2;
- форма проведення і види завдань: письмова робота.

7.2. Організація оцінювання:

Обов'язковим є виконання завдань, винесених на самостійну роботу, та контрольних робіт за графіком робочої програми.

У частину 1 входять теми 1 - 3, у частину 2 – теми 4 – 6 у частину 3 – теми 7 – 9. Обов'язковим

для допуску до екзамену є виконання усіх контрольних робіт та доповідь за темою наукового дослідження до вказаної викладачем дати, перед початком екзаменаційної сесії, згідно навчального плану. Переписування чи перескладання тем не практикується..

Терміни проведення форм оцінювання:

1. *Контрольна робота: до 5 тижня навчального періоду.*
2. *Контрольна робота: до 13 тижня навчального періоду.*
3. *Доповідь за темою наукового дослідження: до 10 тижня навчального періоду.*

У випадку відсутності з поважних причин відпрацювання та перездачі контрольні роботи здійснюються у відповідності до «Положення про організацію освітнього процесу».

7.3. Шкала відповідності оцінок

Відмінно / Excellent	90-100
Добре / Good	75-89
Задовільно / Satisfactory	60-74
Незадовільно / Fail	0-59

При визначені оцінки визначальною є робота в семестрі. Після завершення розгляду тем проводяться письмові контрольні роботи та теоретичне опитування.

8. СТРУКТУРА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ. ТЕМАТИЧНИЙ ПЛАН ЛЕКЦІЙ І ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ

№	Назва лекції	Кількість годин		
		Лекції	Практичні	Самостійна робота
Частина 1. «ДИНАМІЧНІ СИСТЕМИ ХАОТИЧНІ ТА ЛІНІЙНІ»				
1	Тема 1. Основні положення. Детермінований хаос в механіці, статистичній фізиці, радіофізиці, гідромеханіці, математики, геометрії та ін. Детермінований хаос в природі і техніці. <i>Самостійна робота:</i> Приклади найпростіших хаотичних систем.	2		8
2	Тема 2. Динамічна система. Динамічна змінна. Оператор еволюції. Вільні коливання лінійної коливальної системи. Вимушені коливання. <i>Самостійна робота:</i> Динамічна реалізація. Фазовий портрет.	2		12
3	Тема 3. Рівняння Гамільтона. Траєкторії і фазовий потік. Деякі властивості гамільтонових систем. Теорема Ліувілля. Рівняння нерозривності фазового потоку. Структурні властивості фазових траєкторій. Класифікація особливих точок. <i>Самостійна робота:</i> Частка у поле потенційних сил. Граничні цикли. Топологічна еквівалентність фазових траєкторій. Індекс Пуанкаре.	1	2	8
<i>Контрольна робота 1</i>		1		
Частина 2. «ФРАКТАЛИ І ФРАКТАЛЬНА РОЗМІРНІСТЬ»				
4	Тема 4. Часові реалізації. Фазова траєкторія. Фазові траєкторії в псевдо-фазовому просторі. Хаотичний аттрактор. Спектральний аналіз. Кореляційний аналіз. Перетин Пуанкаре. Класифікація перетинів Пуанкаре. Показники Ляпунова. <i>Самостійна робота:</i> Стійкість динамічних систем. Стійкість за Лагранжем.	2		12
5	Тема 5. Стійкість за Пуанкаре. Стійкість за Ляпуновим. Найбільший показник Ляпунова. Узагальнення показників Ляпунова на різниці рівняння. Розмірність Хаусдорфера. Крива Кох. Множина Кантора. <i>Самостійна робота:</i> Локальна геометрична теорія динаміки	2	2	8
6	Тема 6. Трикутник Серпінського. Килим Серпінського. Куб Серпінського. Поточечна розмірність. Кореляційна розмірність. Інформаційна розмірність. Аналітичні карти на комплексній площині. Фрактальна розмірність перетину Пуанкаре.	2		12

	<i>Самостійна робота:</i> Комплексні відображення та множини Мандельброта.			
Частина 3. «ХАОС В ДИСКРЕТНИХ ВІДОБРАЖЕННЯХ ТА В НЕЛІНІЙНИХ МОДЕЛЬНИХ СИСТЕМАХ»				
7	Тема 7. Відображення «зуб пилки». Логістичне рівняння. Подвоєння періоду. Біфуркаційна діаграма. Відображення «тент». Стійкість точок рівноваги. Двовимірні відображення. Власні значення матриці перетворення. Відображення «кіт Арнольда». <i>Самостійна робота:</i> Атрактор Смейла-Вільямса. Перетворення Хеннон. Перетин Пуанкаре.	2		12
8	Тема 8. Рівняння Дуффінга. Критичні параметри. Нелінійний маятник. Фазовий портрет. Рівняння Лоренца. Нерухомі точки. Аналіз стійкості. Біфуркації системи Лоренца. Рух в швидко осцилюючих полях. Нелінійний маятник з швидко осцилюючою опорою. Аналіз фазовий траєкторій. <i>Самостійна робота:</i> Одномірний рух кульок в полі гравітації. Динаміка зміни перетину Пуанкаре.	2		12
9	Тема 9. Передбачуваний регулярний рух. Непередбачуваний регулярний рух. Перехідний хаос. Переміжний хаос. Обмежений хаос. Великомасштабний хаос. Сильний хаос. <i>Самостійна робота:</i> Застосування хаосу: хаос у Сонячній системі; хаос у інженерній практиці; хаос в механіці рідини.	1		12
<i>Контрольна робота 2</i>		1		
ВСЬОГО		18	4	96

Загальний обсяг 120 годин, в тому числі:

Лекцій – **18 годин**,

Практичні – **4 години**.

Консультації - **2 години**.

Самостійна робота – **96 годин**.

9. Рекомендовані джерела

Основні:

1. Анищенко В.С. Знакомство с нелинейной динамикой. – М.: Изд-во ЛКИ, 2008.
2. В.И.Арнольд. Математические методы классической механики, М., "Наука", 1989.
3. Болсинов А.В., Фоменко А.Т. Интегрируемые Гамильтоновы системы. – Ижевск: Издательский дом «Удмуртский университет», 1999.
4. Данилов Ю.А. Лекции по нелинейной динамике. Элементарное введение. – М.: КомКнига, 2006.
5. Заславский Г.М., Сагдеев Р.З. Введение в нелинейную физику: от маятника до турбулентности. – М.: Наука, 1986.

6. Каток А., Хассельблатт Б. Введение в современную теорию динамических систем. М, "Факториал", 1999.
7. Кузнецов А.П. Динамический хаос. М, "Наука", 1997.
8. Мун Ф. Хаотические колебания. – М.: Мир, 1990.
9. Федер Е. Фракталы. – М.: Мир, 1991.
10. Шустер Г. Детерминированный хаос. Введение. – М.: Мир, 1988.
11. Brin M., Stuck G. Introduction to dynamical systems. – Cambridge: Cambridge University Press, 2002.
12. Hoppensteadt F.C. Analysis and modeling of chaotic systems. – New York: Springer, 2000.

Додаткові:

1. Берже П., Помо И., Видаль К. Порядок в хаосе. – М.: Мир, 1991.
2. Заславский Г.М., Сагдеев Р.З., Усиков Д.А., Черников А.А. Слабый хаос и квазирегулярные структуры. – М.: Наука, 1988.
3. Косевич А.В., Ковалев А.С. Введение в нелинейную физическую механику. – Киев: Наукова Думка, 1989.
4. Майер А.Г. Качественная теория динамических систем 2-го порядка. М, "Наука", 1996.
5. Марсен Дж., Мак-Кракен М. Бифуркация рождения цикла и ее приложения. – М.: Наука, 1988.
6. Морозов А.Д. Введение в теорию фракталов. – М.: Институт компьютерных исследований, 2002.
7. Палис Ж., Димелу В. Геометрическая теория динамических систем. – М.Мир, 1986.
8. Рюэль Д. Случайность и хаос. – М.: НИЦ "Регулярная и хаотическая динамика", 2001.
9. Табор М. Хаос и интегрируемость в нелинейной динамике. – М.: Наука, 1994.
10. Addison P.S. Fractals and chaos. – London: Chapman & Hall, 1997.
11. Afraimovich V., Hsu S.-B. Lectures on chaotic dynamical systems – New York: International press, 2002.
12. Haller G. Chaos near resonance. . – New York: Springer, 1999.
13. Ott E. Chaos in dynamical systems. – Cambridge: Cambridge University Press, 1993.
14. Smith P. Explaining chaos. – Cambridge: Cambridge University Press, 1998.