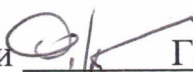



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ЗАТВЕРДЖЕНО

на засіданні групи забезпечення
спеціальності
протокол № 8 від « 05 » _06_ 2023
року
Голова групи  Герасимов О.І.

УЗГОДЖЕНО

Декан природоохоронного ф-ту
 Чугай А.В.
(назва факультету, прізвище, ініціали)

СИЛЛАБУС
навчальної дисципліни

«Методи нелінійної динаміки та аналізу систем
навколишнього середовища»
(назва навчальної дисципліни)

183 Технології захисту навколишнього середовища
(шифр та назва спеціальності)

Технології захисту навколишнього
середовища
(назва освітньої програми)

магістр
(рівень вищої освіти)

денна
(форма навчання)

1
(рік навчання)

1, 2
(семестр навчання)

10/300
(кількість кредитів ЕКТС/годин)

іспит
(форма контролю)

Фізики та ТЗНС
(кафедра)

Одеса, 2023 р.

Автори: Герасимов О.І., зав. каф. Фізики та ТЗНС, доктор
ф.-м. наук, професор
(прізвище, ініціали, посада, науковий ступінь, вчена звання)

Кудашкіна Л.С., доцент кафедри Фізики та ТЗНС,
кандидат ф.-м. наук, доцент
(прізвище, ініціали, посада, науковий ступінь, вчена звання)

Рецензент: Софронков О.Н., доктор техн. Наук, професор каф. Фізики та ТЗНС

Поточна редакція розглянута на засіданні кафедри Фізики та ТЗНС від «__ __»
2023 року, протокол № _____

Викладачі: лекційні заняття – Герасимов О.І., зав. каф. Фізики та ТЗНС, доктор
ф.-м. наук, професор
лекційні заняття, практичні заняття – Кудашкіна Л.С., каф. Фізики та ТЗНС,
кандидат ф.-м. наук, доцент
(вид навчального заняття: прізвище, ініціали, посада, науковий ступінь, вчена звання)

(вид навчального заняття: прізвище, ініціали, посада, науковий ступінь, вчена звання)

Перелік попередніх редакцій

Прізвища та ініціали авторів	Дата, № протоколу	Дата набуття чинності

1. ОПИС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Мета	Метою дисципліни є дати основні уявлення про нерівноважні та нелінійні процеси, що відбуваються у довкіллі, методи їх опису та застосування в задачах моделювання станів та переходів поміж ними.
Компетентність	<p>Здатність використовувати фізичні принципи в екології та закони теоретичного опису властивостей систем із складною морфологією, володіння методичною базою екологічної фізики, застосовуючи її до розв'язання задач захисту навколишнього середовища.</p> <p>Здатність застосовувати теоретичні концепції, що базуються на досягненнях фундаментальних наук до моделювання динаміки станів систем довкілля, оцінки та прогнозування наслідків впливу зовнішніх факторів з метою вибору адекватних заходів забезпечення елементів довкілля.</p> <p>Здатність застосовувати методи статистичного аналізу до даних спостережень. Володіння методами статистичної фізики, молекулярної фізики та термодинаміки для опису та прогнозування міграції забруднюючих речовин у навколишньому середовищі.</p>
Результат навчання	<p>Знати сучасні теорії, підходи, принципи екологічної політики, фундаментальні положення з біології, хімії, фізики, математики, біотехнології та фахових і прикладних інженерно-технологічних дисциплін для моделювання та вирішення конкретних природоохоронних задач у виробничій сфері.</p> <p>Вміти здійснювати фізичне моделювання кінетичних процесів у задачах довкілля, прогнозування характеру міграції забруднюючих речовин у біосфері.</p> <p>Вміти визначати на основі знань статистичних розподілів характер, критерії та параметри перерозподілу шкідливих речовин в об'єктах навколишнього середовища та описувати їх динаміку.</p> <p>Аналізувати складні системи, розуміти їх взаємозв'язки та організаційну структуру.</p> <p>Вміти визначати процеси структуроутворення в нелінійних дисипативних екосистемах. Здатність використовувати теорію та методи нелінійного аналізу при оптимізації екологічно безпечного стану довкілля.</p>
Базові знання	<p>ЗМ-Л1 – Знати приклади появи дисипативних структур в навколишньому середовищі і методи оцінки їх стійкості.</p> <p>ЗМ-Л2 – Знати приклади складних нелінійних систем у нерівноважних станах.</p> <p>ЗМ-Л3 – Знати окремі фундаментальні принципи математичної фізики та застосування їх до розв'язання типових задач складних систем з багатьох компонентів.</p> <p>ЗМ-Л4 – Знати основні відомості про інтеграли та ряди, функцій розподілу, Фур'є- та Лаплас- перетворення</p>
Базові вміння	<p>ЗМ-П1 – Вміти досліджувати системи з нестійкими та випадковими модами.</p> <p>ЗМ-П2 – Вміти користуватись відповідними методами сучасної математичної фізики, застосовуючи їх до розгляду типових рівнянь, які стосуються структури та кінетики домішок у довкіллі, екологічного моніторингу та ін.</p>
Базові навички	Практично використовувати методи нелінійного аналізу при побудові робочої моделі та пошуку її розв'язків, накопичувальний банк даних типових нелінійних моделей та сценаріїв, застосовувати методи

	математичної фізики до кінетичних рівнянь
Пов'язані силлабуси	немає
Попередня дисципліна	немає
Наступна дисципліна	немає
Кількість годин	лекції – 75 год., з них: 1-ий семестр – 45 год.; 2-ий семестр – 30 год. практичні заняття – 60 год., з них: 1-ий сем.–30 год.; 2-ий сем.– 30 год. лабораторні заняття: немає семінарські заняття: немає самостійна робота студентів –165 год., з них: 1-ий сем. – 105 год.; 2-ий сем – 60 год.

Консультації: Герасимов О.І., згідно з графіком консультацій, затвердженим на засіданні кафедри: понеділок з 16.05 (ауд.301 (2));

Консультації: Кудашкіна Л.С., згідно з графіком консультацій, затвердженим на засіданні кафедри: п'ятниця з 16.05 (ауд.303 (2)).

2. ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ (Перший семестр)

2.1. Лекційні модулі

Лекційний модуль №1 (1-ий семестр)

Код	Назва модуля та тем	Кількість годин	
		аудиторні	СРС
ЗМ-Л1	Термодинаміка у відкритих системах: рухомі сили та швидкості не обернених процесів		
	Тема 1. Термодинамічне спряжіння процесів. Зміна ентропії відкритої системи.	4	2
	Тема 2. Термодинамічна форма запису кінетичних рівнянь.	5	4
	Тема 3. Умови кінетичної необерненості хімічної реакції.	4	4
	Тема 4. Обчислення енергії активації бруто-процесу. Швидкість-визначальна та швидкість-лімітуюча стадії.	4	4
	Тема 5. Зв'язок між стаціонарною швидкістю бруто-процесу та термодинамічними силами.	4	4
	Тема 6. Співвідношення Онзагера.	4	4
	Модульна тестова контрольна робота 1		5
ЗМ-Л2	Термодинаміка у відкритих системах: нелінійна термодинаміка		
	Тема 7. Критерії еволюції Пригожина.	5	2
	Тема 8. Біологічні додатки. Термомеханічний ефект.	5	3
	Тема 9. Просторові, часові та просторово-часові дисипативні структури.	5	4
	Тема 10. Зміни умов співіснування фаз в ході хімічної реакції.	5	4
	Модульна тестова контрольна робота 2		5
	Іспит		20
	Разом:	45	65

2.2. Практичний модуль №1. (1-ий семестр)

Код	Назва модуля та тем	Кількість годин	
		аудиторні	СРС
ЗМ-П1	Тема 1. Елементи динаміки частинок.	2	5
	Тема 2. Методи розв'язання рівнянь руху Гамільтонівських систем.	4	5
	Тема 3. Основні властивості хаосу як особливого стану динамічних систем.	4	5
	Тема 4. Виявлення локальної нестійкості.	4	5
	Тема 5. Рух стохастичного атрактора.	4	5
	Тема 6. Визначення структури атрактора у конкретних випадках.	4	5
	Тема 7. Побудова фракталів.	4	5
	Тема 8. Урахування Хаусдорфової вимірності.	4	5
Разом:		30	40

Консультації: Кудашкіна Л.С., згідно з графіком консультацій, затвердженим на засіданні кафедри: п'ятниця з 16.05 (ауд.303 (2)).

2.3. Самостійна робота студента та контрольні заходи. Перший семестр.

Код модуля	Завдання на СРС та контрольні заходи	Кількість годин	Строк проведення
ЗМ-Л1	Підготовка до лекційних занять. Виконання модульної тестової контрольної роботи 1 (обов'язковий).	22 5	1 сем.; 1-5 тиждень
ЗМ-П1	Підготовка до практичних занять. Підготовка до усного опитування (обов'язковий).	40	1 сем.; 1-14 тиждень
ЗМ-Л2	Підготовка до лекційних занять. Виконання модульної тестової контрольної роботи 2 (обов'язковий).	13 5	1 сем.; 6-15 тиждень
	Підготовка до іспиту (обов'язковий)	20	1 сем.; 1-5 тиждень
Разом:		105	

2.3.1. Методика проведення та оцінювання контрольного заходу для ЗМ-Л1, ЗМ-Л2.

Організація контролю знань студентів побудована за накопичувально-модульним принципом згідно вимог діючого в університеті Положення «Про проведення підсумкового контролю знань студентів».

З *теоретичного* курсу навчальної дисципліни студент повинен бути готовим відповідати на усні запитання лектора під час лекційних занять.

Формами контролю засвоєння теоретичних знань є усне опитування під час лекційних занять (поточний контроль), модульні контрольні роботи за кожним змістовним модулем (внутрішньо семестровий контроль), складання іспиту (підсумкова атестація).

Варіанти модульних контрольних робіт містять запитання у тестовому вигляді. Кожна вірна відповідь оцінюється у 3 бали. Максимальна кількість балів за виконаний варіант кожної модульної контрольної роботи становить:

ЗМ-Л1- 30 балів, ЗМ-Л2- 30 балів.

Максимальна кількість балів, яку студент може отримати з лекційної частини, складає **60 балів**.

2.3.2. Методика проведення та оцінювання контрольного заходу для ЗМ-П1.

Формою контролю практичного модулю ЗМ-П1 є усне опитування та розв'язування задач під час проведення практичних занять за темами лекційного курсу. Всього за практичні заняття студент може отримати **40 балів**. До цієї оцінки входить окрім опитування оцінювання роботи під час розв'язування задач, систематичність підготовки до занять, систематичність відвідування.

2.3.3. Методика проведення та оцінювання контрольного заходу для семестрового іспиту

Підсумковий семестровий контроль (**ПСК**) передбачає дві форми оцінювання успішності засвоєння студентом навчального матеріалу дисципліни: кількісна оцінка (бал успішності); якісна оцінка. Кількісна оцінка (бал успішності) – це відсоток, який становить інтегральна сума балів, отриманих студентом на контролюючих заходах, відносно максимально можливої суми балів, яка визначена програмою навчальної дисципліни. Якісна оцінка – це оцінка, яка виставляється на підставі кількісної оцінки (балу успішності) за будь-якою якісною шкалою. В університеті використовуються такі шкали якісних оцінок: – чотирибальна (відмінно, добре, задовільно, незадовільно) – для форми семестрового контролю у вигляді семестрового іспиту (екзамену); – семибальна шкала оцінювання ECTS – використовується за кредитно-модульної системи організації навчального процесу.

Семестровий іспит (екзамен) – це письмова форма підсумкового

контролюючого заходу в період заліково-екзаменаційної сесії. Під час екзамену перевіряється засвоєння студентом теоретичного та практичного матеріалу (знань, вмінь та навичок, що визначені у силлабусі навчальної дисципліни) з окремої навчальної дисципліни за семестр. Оцінювання успішності виконання студентом цього заходу здійснюється у формі кількісної оцінки (бал успішності). Допуск до іспиту за підсумками модульного накопичувального контролю регламентуються п. 2.4 Положення про проведення підсумкового контролю знань студентів, а саме, студент вважається допущеним до підсумкового семестрового контролю з конкретної навчальної дисципліни, якщо він виконав всі види робіт, передбачені робочою навчальною програмою дисципліни і набрав за модульною системою суму балів не менше 50% від максимально можливої за практичну частину дисципліни (для іспиту), тобто не менше 20 балів за ЗМ-П1.

Студент вважається допущеним до ПСК з навчальної дисципліни «Методи нелінійної динаміки та аналізу систем навколишнього середовища», якщо він виконав усі види робіт, передбачені робочою навчальною програмою дисципліни, і набрав за модульною системою суму балів не менше 50% від максимально можливої за практичну частину дисципліни для іспиту: 20 балів за змістовний модуль ЗМ-П1. Кожен студент, який на день іспиту має допуск до ПСК з дисципліни, що закінчується іспитом, складає письмовий іспит (екзамен) за розкладом екзаменів.

Якщо студент на день екзамену не ліквідував заборгованість з практичної частини навчальної дисципліни, він не допускається до екзамену. Якщо студент ліквідував заборгованість по практичній частині до дня екзамену, то він допускається викладачем до екзамену.

Підсумкова контрольна робота (іспит) представляє собою тестові завдання, кожне з яких містить 20 запитань. Максимальна оцінка за результатами підсумкової атестації (іспиту) становить **100 балів**.

Загальна оцінка за семестр виводиться як середньоарифметичне за підсумками поточного контролю (з теоретичної та практичної частин) та оцінкою за іспит.

3. РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТІВ

3.1. Модуль ЗМ-Л1 «Термодинаміка у відкритих системах».

3.1.1. Повчання

Тема 1. Термодинамічне спряжиння процесів. Швидкість-визначальна та швидкість-лімітуюча стадії.

При вивченні теми звернути увагу на такі питання: фізично малі частини системи, елементарні хімічні перетворення, реакційна група, термодинамічні потоки і термодинамічні сили, швидкість виробництва ентропії.

Література [1, 2, 3]

Тема 2. Зміна ентропії відкритої системи. Термодинамічна форма запису кінетичних рівнянь.

При вивченні теми звернути увагу на такі питання: загальна зміна ентропії відкритої системи, інтермедіати.

Література [1, 2, 3]

Тема 3. Умови кінетичної необерненості хімічної реакції. Обчислення енергії активації бруто-процесу.

При вивченні теми звернути увагу на такі питання: бруто-процес, енергія активації, складні реакції, швидкості не обернених процесів.

Література [1, 2, 3]

Тема 4. Зв'язок між стаціонарною швидкістю бруто-процесу та термодинамічними силами. Співвідношення Онзагера.

При вивченні теми звернути увагу на такі питання: системи поблизу рівноваги, інтенсивні та екстенсивні параметри одночасний перебіг декілька процесів.

Література [1, 2, 3]

Тема 5. Критерії еволюції Пригожина. Біологічні додатки. Термомеханічний ефект.

При вивченні теми звернути увагу на такі питання: швидкість дисипації енергії, стаціонарний стан, умови стаціонарності, кількісний критерій для визначення напрямку еволюції системи.

Література [1, 2, 3]

Тема 6. Просторові, часові та просторово-часові дисипативні структури. Приклади появи дисипативних структур в каталітичних системах.

При вивченні теми звернути увагу на такі питання: кінетичні фазові переходи, ячейки Бенара, реакція Білоусова-Жаботинського.

Література [1, 2, 3]

Тема 7. Зміни умов співіснування фаз в ході хімічної реакції.

При вивченні теми звернути увагу на такі питання: теплота переносу, каталітичні реакції.

Література [1, 2, 3]

3.1.2. Питання для самоперевірки:

1.* Які додаткові (по відношенню до трьох «початків» класичної рівноважної термодинаміки) постулати використовуються в побудові теорії термодинаміки нерівноважних процесів?

2.* Коли застосування методів термодинаміки нерівноважних процесів (тобто кінетики-термодинамічної аналізу) є кращим, ніж застосування методів традиційного "чисто кінетичного" опису? Чому?

3.* Як віддаленість від термодинамічної стану проявляється в хімічній кінетиці?

- 4.* У чому сенс поділу хімічних процесів на бруutto-процес і елементарні стадії і реагентів на вихідні реагенти, кінцеві продукти і проміжні продукти-інтермедіати?
- 5.* Показати, що швидкість приросту ентропії термодинамічної системи за рахунок протікання хімічної реакції дорівнює добутку швидкості реакції на хімічне спорідненість, поділене на температуру, де A і v - спорідненість і швидкість хімічної реакції, відповідно.
- 6.* Дати визначення потоку термодинамічної параметра і термодинамічної сили, що відповідає цьому потоку. Чому дорівнює термодинамічна сила для дифузії речовини?
- 7.* Дати визначення потоку термодинамічної параметра і термодинамічної сили, що відповідає цьому потоку.
- 8.* Чому дорівнює термодинамічна сила для перенесення теплоти теплопровідністю?
9. Вивести вираз для термодинамічної сили, що викликає явища теплопровідності в суцільному середовищі без конвекції, і для швидкості виробництва ентропії, викликаного цим явищем у відповідній системі.
10. Виведіть вираз термодинамічної сили, що викликає дифузю речовини.
11. Виведіть рівняння термодинамічної сили для протікання електричного струму через електропровідниками.
- 12.* Чому при спільному кінетико-термодинамічному аналізі складних хімічних процесів бажано виділити стехіометричну бруutto-реакцію і перетворення інтермедіатів?
- 13.* Скільки кінетично необоротних стадій може бути в стаціонарній бруutto-реакції зі спорідненістю 10 кДж / моль?
14. Виведіть вираз термодинамічної сили для протікання хімічної реакції. У яких випадках можна використовувати поняття такої термодинамічної сили?
- 15.* У чому полягає особливість "термодинамічної форми" записи кінетичних рівнянь? Що являють собою параметри, які використовуються для такого запису і як вони пов'язані з традиційними параметрами, використовуваними в хімічній кінетиці? Коли така форма кінетичних рівнянь є особливо корисною?
- 16.* Для деякої складної кінетичної схеми необхідно розрахувати залежність від часу концентрацій реагентів, що беруть участь в хімічних перетвореннях. Чи можуть при цьому бути корисними методи термодинаміки нерівноважних процесів? Чому?
- 17.* У чому сенс теореми Пригожина про мінімум швидкості виробництва ентропії? Які умови застосовності цієї теореми?
- 18.* Що називають дисипативними структурами? У чому полягає відмінність звичайного стаціонарного стану і дисипативної структури?
- 19.* Елементи теорії коливань. Лінійні коливання.
- 20.* Найпростіші нелінійні коливання.
- 21.* Дисипативні автоколивальні системи.

(* - питання для самоперевірки базових результатів навчання - знань, вмінь, навичок).

3.2. Модуль ЗМ-Л2 «Ентропія та інформація, фазовий простір».

3.2.1. Повчання

Тема 1. Рецепція та виникнення інформації. Фазовий портрет.

При вивченні теми звернути увагу на такі питання: дисипативні властивості інформаційних систем, приклади рецепції, статистична і динамічна підсистеми, типи збурень у системі.

Література [1, 2, 3]

Тема 2. Внутрішні резонанси. Перевертання фронту хвилі.

При вивченні теми звернути увагу на такі питання: умови резонансу, сумірність частот за ступенями свободи, еволюція збурень у часі,.

Література [1, 2, 3]

Тема 3. Структурна стійкість. Граничні цикли. Топологічна еквівалентність.

При вивченні теми звернути увагу на такі питання: класифікація особливих точок, фазові криві в околиці особливих точок, умови топологічної еквівалентності.

Література [1, 2, 3]

Тема 4. Тангенціальна біфуркація. Зміна стійкості.

При вивченні теми звернути увагу на такі питання: граничні цикли, точки біфуркації, структурна стійкість, індекси Пуанкаре, показники Ляпунова.

Література [1, 2, 3]

Тема 5. Біфуркація подвоєння. Біфуркація Пуанкаре-Андропова-Хопфа.

При вивченні теми звернути увагу на такі питання: причина появи хаотичних режимів і системі, переріз та відображення Пуанкаре.

Література [1, 2, 3]

Тема 6. К-систем. Ентропія Колмогорова-Синая. Локальна нестійкість.

При вивченні теми звернути увагу на такі питання: критерій виникнення хаосу, локальна рівновага, локальна нестійкість траєкторій, заплутування, умова стохастичності, приклади виникнення стохастичної динаміки.

Література [1, 2, 3]

Тема 7. Сильна турбулентність. Ергодичність та змішування.

При вивченні теми звернути увагу на такі питання: одночасткова динамічна система, ергодичні властивості, лінеаризація, особливості виникнення сильної турбулентності, неупорядковані структури.

Література [1, 2, 3]

Тема 8. Міра в фазовому просторі. Фінітність руху. Модель Лоренца (дивний атрактор).

При вивченні теми звернути увагу на такі питання: прості та дивні атрактори, їх характеристики та властивості.

Література [1, 2, 3]

3.2.2. Питання для самоперевірки

- 1.* Коливальні системи. Існування періодичних розв'язків таких систем.
2. Дослідити нелінійне коливальне рівняння
- 3.* Дослідження окремих рівнянь Лагранжа та Гамільтона
- 4.* Системи першої та другої ступенів грубості
- 5.* Критерії існування періодичних розв'язків.
- 6.* Грубі системи. Загальні визначення. Необхідні умови грубості в системах на площині.
7. “Кількість” грубих систем.
- 8.* Основи теорії біфуркацій. Біфуркація систем на площині.
- 9.* Моделі з дискретним часом. Біфуркація у дискретних системах. Теорема Шарковського.
- 10.* Дослідження атрактору Лоренца. Чисельне дослідження рівнянь Лоренца. Біфуркації в моделі Лоренца.
- 11.* Фрактальні множини. Умови самоподібності.
12. Приклади моделей, що призводять до хаосу
13. Теорія катастроф. Її суть.
- 14.* Біфуркація. Основні поняття
- 15.* Невизначена біфуркаційна задача. Приклад
- 16.* Хаос у динамічних системах. Критерій виникнення хаосу.
17. Побудувати фазовий портрет нелінійного рівняння коливання.
18. Особливі точки, періодичні рухи, стійкі многовиди
- 19.* Побудувати фазовий портрет визначеної лінійної стаціонарної системи на площині.
- 20.* Умова існування центра для системи з квадратичною нелінійністю
- 21.* Умова існування центра для системи з квадратичною нелінійністю
- 22.* Обчислення індексу Пуанкаре для особливих точок на площині
23. Геометрична інтерпретація в системах диференціальних рівнянь. Основні поняття та визначення.
- 24.* Особі точки лінійних стаціонарних систем на площині. Вузол, сідло, фокус, центр.
- 25.* Вироджені стани рівноваги.
- 26.* Можливий характер траєкторій на площині. Стійкі та орбітно-стійкі траєкторії. Граничні точки та граничні множини.
- 27.* Траєкторії на торі. Відображення тору на площину.
28. Приклади систем диференціальних рівнянь на торі.
- 29.* Однорідні диференціальні рівняння на площині. Види траєкторій для однорідних рівнянь на площині.
- 30.* Проблема центра-фокуса. Умови існування центру.
- 31.* Умови існування центру при наявності лінійних членів.
- 32.* Побудувати фазовий портрет заданої системи на площині.

33. Побудувати фазовий портрет системи з квадратичною правою частиною на площині.

34.* Перевірити умови існування центру для заданої системи диференціальних рівнянь.

35.* Обчислити індекс Пуанкаре для вузла, сідла та фокуса.

(* - питання для самоперевірки базових результатів навчання - знань, вмінь, навичок).

3.3. Модуль ЗМ-П1 «Розв'язування задач за темами лекційних модулів ЗМ-Л1 – ЗМ-Л2»

3.3.1. Повчання

Тема 1. Елементи динаміки частинок. Методи розв'язання рівнянь руху Гамільтонівських систем.

Методичні вказівки та приклади розв'язування задач див.:

[3] Герасимов О.І., Співак А.Я. Механіка суцільних середовищ. Конспект лекцій. Одеса: Одеський державний екологічний університет, 2008 – с. 6-7; [6] Заславський Г.М., Сагдеев Р.З. Введение в нелинейную физику: от маятника до турбулентности и хаоса. М.: Наука, 1988 – с.9-15.

Тема 2. Основні властивості хаосу як особливого стану динамічних систем. Виявлення локальної нестійкості.

Методичні вказівки та приклади розв'язування задач див.:

[3] Герасимов О.І., Співак А.Я. Механіка суцільних середовищ. Конспект лекцій. Одеса: Одеський державний екологічний університет, 2008 – с. 26-30.

Тема 3. Рух стохастичного атрактора. Визначення структури атрактора у конкретних випадках.

Методичні вказівки та приклади розв'язування задач див.:

[3] Герасимов О.І., Співак А.Я. Механіка суцільних середовищ. Конспект лекцій. Одеса: Одеський державний екологічний університет, 2008 – с. 30-35..

Тема 4. Побудова фракталів. Урахування Хаусдорфової вимірності.

Методичні вказівки та приклади розв'язування задач див.:

[6] Заславський Г.М., Сагдеев Р.З. Введение в нелинейную физику: от маятника до турбулентности и хаоса. М.: Наука, 1988 – с.177-178.

4. ПИТАННЯ ДО ЗАХОДІВ ПОТОЧНОГО, ПІДСУМКОВОГО ТА СЕМЕСТРОВОГО КОНТРОЛЮ (I семестр)

4.1 Тестові питання до модульної контрольної роботи 1 модуля ЗМ-Л1.

1. Що таке стан термодинамічної системи? Виразіть в математичній формі, використовуючи просторову координат і час, різні стани гомогенної термодинамічної системи –
Література [5,с.17]
2. Що таке термодинамічний процес? Дайте визначення позитивних, негативних, нерівноважних і рівноважних процесів –
Література [5,с.18]
3. Що означає термін "втрачена робота"? Який її знак при протіканні позитивних і негативних нерівноважних процесів? –
Література [5,с.19]
4. У чому відмінність термінів "перетворення і дисипація енергії"? –
Література [5,с.20]
5. При наявності рівноваги термодинамічні функції застосовують для всієї системи в цілому. Чи можна аналогічним чином поступати в разі нерівноважних систем? –
Література [5,с.20]
6. Що називають фізично нескінченно малою величиною? –
Література [5,с.21]
7. Що таке локальні макроскопічні величини? –
Література [5,с.21]
8. Що являє собою локальна термодинамічна рівновага? –
Література [5,с.21]
9. Який порядок величини часу встановлення локальної рівноваги? –
Література [5,с.21]
10. Яка область застосовності гіпотези про локальної рівновазі? –
Література [5,с.22]
11. Чому рівні екстенсивні термодинамічні функції локально рівноважних систем? Чи має місце в цих системах статистична кореляція між флуктуаціями термодинамічних величин в різних елементах об'єму? –
Література [5,с.22]
12. Які типи нерівноважних систем вивчає термодинаміка? –
Література [5,с.23]
13. Поясніть поняття узагальнена координата, узагальнена сила, узагальнена робота, корисна робота. –

Література [5,с.24]

14. Чому за допомогою єдиної функції - ентропії вдається охарактеризувати всю різноманітність нерівноважних процесів? –

Література [5,с.26]

15. Як записати в диференціальном вигляді для закритої системи вираження для першого закону термодинаміки і об'єднане вираз для першого і другого закону в разі протікання рівноважних і нерівноважних процесів? –

Література [5,с.21]

16. У яких випадках некомпенсована теплота Клаузиуса виявляється рівною зміни внутрішньої енергії, ентальпії, енергії Гельмгольца, енергії Гіббса? –

Література [5,с.28]

17. Яким чином в нерівноважну термодинаміку вводять нову змінну - час? –

Література [5,с.29]

18. Що можна сказати про зміну ентропії в часі в стаціонарному стані? –

Література [5,с.29]

19. Що таке локальна функція дисипації і локальна швидкість виникнення ентропії? Яка між ними зв'язок? –

Література [5,с.29]

20. Як розрахувати повну швидкість виникнення ентропії, тобто швидкість, віднесену до системи в цілому? –

Література [5,с.30]

21. Що називається узагальненою щільністю потоку і узагальненої термодинамічної силою? –

Література [5,с.30]

22. Виведіть співвідношення де Донді, що зв'язує функцію дисипації з потоками і силами. –

Література [5,с.31]

23. Які наслідки про можливість перебігу процесу дає співвідношення де Донді? –

Література [5,с.31]

24. Що можна сказати про взаємозв'язок потоків і сил? Дайте визначення самовільного і вимушеного потоків. Що таке ефект захоплення одних узагальнених координат іншими? –

Література [5,с.33]

25. Як записати в загальному вигляді взаємозв'язок потоків і сил? Що називають лінійною термодинамікою нерівноважних процесів? –
Література [5,с.34]
26. У чому відмінність між рухливістю і провідністю? –
Література [5,с.35]
27. Сформулюйте принцип Кюрі. Яка його роль в нерівноважній термодинаміці? –
Література [5,с.35]
28. Що таке співвідношення взаємності Онзагера? –
Література [5,с.38]
29. Наведіть приклади перехресних процесів. –
Література [5,с.38]
30. Наведіть доказ співвідношення взаємності на прикладі послідовно протікають реакцій. –
Література [5,с.39]
31. Які основні постулати лінійної термодинаміки нерівноважних процесів? Чи можна їх вважати законами природи? –
Література [5,с.42]
32. Який знак повинен бути у прямих і перехресних феноменологічних коефіцієнтів?
Література [5,с.43]
33. Чи існує можливість при описі нерівноважних явищ використовувати різні вирази для потоків і сил? –
Література [5,с.44]
34. Нерівність Клаузіуса має вигляд $TdS \geq \delta Q$. Чи можна встановити знак рівності, якщо врахувати тільки теплообмін з навколишнім середовищем, тобто написати $Td_e S = \delta_e Q$? –
Література [5,с.45]
35. Що може встановити нерівноважна термодинаміка і молекулярно-кінетична теорія при описі явищ переносу в реальних фізичних середовищах? –
Література [5,с.46]
36. Що таке узагальнена нерівноважна термодинаміка і нерівноважна термодинаміка граничних умов? –
Література [5,с.46]

4.2 Тестові питання до модульної контрольної роботи 2 модуля ЗМ-Л2.

1. Фундаментальне рівняння Гіббса в ентропійному поданні в локальному вигляді, де екстенсивні змінні віднесені до одиниці маси і до одиниці об'єму
Література [5,с. 56]
2. Використовуючи закон збереження Умова вкажіть рівняння балансу ентропії для системи, в якій протікає нерівноважний процес при відсутності зовнішніх сил, хімічної реакції і конвективного переносу
Література [5,с. 57]
3. Вказати в рівнянні балансу ентропії потік ентропії, функцію дисипації і термодинамічні сили?
Література [5,с. 58]
4. На прикладі дифузії і теплопровідності покажіть, що поєднання двох нерівноважних процесів призводить до зростання ентропії, пов'язаної з їх взаємним впливом один на одного
Література [5,с. 60]
5. Чому дорівнює втрачена робота і швидкість виникнення ентропії в нерівноважному процесі, що протікає в закритій системі при $(P, T) = \text{const}$?
Література [5,с. 60]
6. Які змінні можуть змінюватися в мимовільному нерівноважному процесі, що протікає в закритій системі при $(P, T) = \text{const}$? Наведіть приклад такого процесу.
Література [5,с. 61]
7. Який загальний алгоритм розрахунку зміни ентропії в нерівноважному нестационарному процесі, якщо відома її локальна швидкість виникнення і щільність потоку через контрольну поверхню?
Література [5,с. 62]
8. Розгляньте процес теплообміну в переривану системі. Вираз для узагальненої сили в цьому процесі
Література [5,с. 63]
9. Рівняння балансу для скалярної екстенсивної величини у перервних системах?
Література [5,с. 64]
10. Які контакти з зовнішнім середовищем може мати замкнена система?
Література [5,с. 7]

11. Рівняння $\eta = const \cdot \xi^{v_2/v_1}$ визначає траєкторії у фазовому просторі. Якщо корені рівняння v_1, v_2 комплексні, траєкторіями є.
Література [5, с. 198]
12. Рівняння $\eta = const \cdot \xi^{v_2/v_1}$ визначає траєкторії у фазовому просторі. Якщо корені рівняння v_1, v_2 різних знаків, траєкторіями є.
Література [5, с. 198]
13. Хімічний потенціал μ – це віднесене до однієї частинки значення
Література [5, с. 16]
14. У випадку локальної рівноваги системи, що має характерний розмір l , її параметри α_i задовольняють умові (нерівності)
Література [5, с. 14]
15. Поблизу особливої точки фазового портрету, яка представляє собою сідло, фазові траєкторії динамічної системи мають форму
Література [5, с. 196-197]
16. На фазовому портреті динамічної системи фазовим траєкторіям, що виходять з однієї точки відповідає
Література [5, с. 200]
17. На фазовому портреті динамічної системи особлива точка, поблизу якої фазова траєкторія має вигляд спіралі, що розгортається, є
Література [5, с. 201]
18. Фазовий портрет маятника з утратами, що залежать від швидкості, має особливу точку, яка є
Література [2, с. 16-18]
19. Рух рідини називають стійким, якщо
Література [2, с. 37-40]
20. Фазова крива, що розділяє фінітні та інфінітні фазові траєкторії маятника, має назву
Література [2, с. 18-20]
21. На фазовому портреті динамічної системи фазовим траєкторіям, що сходяться в одній точці відповідає
Література [5, с. 200]
22. Граничний цикл є характерним для фазового портрету
Література [2, с. 80]

23. Лінійний закон термодинаміки необоротних процесів $J_i = \sum_{k=1}^N L_{ik} X_k$
виконується
Література [5, с. 105]
24. Структурно стійкою називають систему, для якої малі збурення параметра μ , що входить в рівняння руху системи
Література [2, с. 38]
25. Стани динамічної системи є топологічно-еквівалентними між двома
Література [2, с. 83]
26. На фазовому портреті динамічної системи особлива точка, поблизу якої фазова траєкторія має вигляд спіралі, що згортається, є
Література [2, с. 81-82]
27. Рух рідини називають нестійким, якщо
Література [2, с. 37-40]
28. Як ознака біфуркації на фазовій площині трактується особлива точка, яка представляє собою
Література [5, с. 195]
29. Атрактор – це
Література [5, с. 144]
30. Вказати дивні атрактори
Література [5, с. 146]
31. Особливою точкою функції $f(x)$ називають точку, в якій функція є
Література [5, с. 80]
32. У випадку локальної рівноваги системи характерний час зміни її параметрів τ задовольняє нерівності
Література [5, с. 14]
33. Кінетичне рівняння, що припускає біфуркації, має містити в собі
Література [2, с. 87]
34. Не є дисипативними системи
Література [5, с. 245]
35. Вибрати вираз, який визначає топологічну еквівалентність двох систем
Література [5, с. 83-84]
36. Мінімуму енергії нелінійного маятника на фазовому портреті відповідає
Література [2, с. 12]

37.Перетину сепаратрис на фазовому портреті нелінійного маятника відповідає

Література [2,с. 17]

38.Особлива траєкторія, на яку динамічна система не вийти за скінченний проміжок часу, або ніколи не вийде з неї, знаходячись на ній у початковий момент, має назву

Література [2,с. 15]

39. В нелінійній динамічній системі, створеної для здійснення періодичних рухів, вводиться зворотний зв'язок для організації

Література [2,с. 48]

4.3 Тестові завдання до екзаменаційної роботи (I семестр)

1. Який стан термодинамічної системи називається рівноважним?

Література [2,с. 62]

2. Які контакти з зовнішнім середовищем може мати ізольована термодинамічна система?

Література [2,с. 7]

3. Оберіть вірне визначення оборотного термодинамічного процесу

Література [2,с. 18]

4. Однією із властивостей, загальною для усіх інформаційних систем є

Література [2,с. 235]

5. В ієрархії часових масштабів кінетична і гідродинамічна стадії нерівноважної системи визначаються функцією розподілу

Література [2,с. 15]

6. У випадку локальної рівноваги системи, що має характерний розмір l , її параметри α_i задовольняють умови (нерівності)

Література [2,с. 14-15]

7. Брутто-процес – це

Література [2,с. 15-16]

8. Швидкість реакції дорівнює

Література [2,с. 57]

9. Загальна зміна ентропії відкритої системи дорівнює

Література [5,с. 137]

10. Виробництву ентропії у необоротному процесі можна надати виду $\sigma = \sum J_i X_i$, де X_i та J_i – термодинамічні сили і відповідні потоки, що

виражені у канонічній формі. У разі наявності в системі градієнту температури внесок у виробництво ентропії дає термодинамічна сила

Література [5,с. 28]

11. При стаціонарному перебігу хімічних процесів значення хімічного потенціалу інтермедіатів

Література [2,с. 43]

12. Реакція Білоусова – Жаботинського описує

Література [5,с. 220]

13. Однією із властивостей, загальною для усіх систем, в яких можливі дивні атрактори є

Література [5,с. 78]

14. Індекс Пуанкаре для центра дорівнює

Література [5,с. 85]

15. Для топологічної еквівалентності двох лінійних систем А і В необхідно та достатньо, щоб виконувалась умова

Література [5,с. 83]

16. Фазовий портрет маятника з загасанням, має особливу точку, яка є

Література [5,с. 17]

17. Вказати простіший атрактор

Література [5,с. 144]

18. Мимовільні процеси завжди йдуть у напрямку

Література [5,с. 19]

19. При спонтанної еволюції системи відбувається:

Література [5,с. 20]

20. Брутто-процес іноді можливо розглядати як одну ефективну елементарну реакцію

Література [2,с. 39]

21. Індекс Пуанкаре кривої дорівнює числу

Література [2,с. 85]

22. Вибрати вираз, який визначає топологічну еквівалентність двох систем

Література [2,с. 83]

23. Системи з відхиляючим аргументом описуються

Література [5,с. 158]

24. Рівняння $\eta = const \cdot \xi^{v_2/v_1}$ визначає траєкторії у фазовому просторі. Якщо корені рівняння v_1, v_2 комплексні, траєкторіями є

Література [5,с. 198]

25. Вказати вираз для теплоти перенесення

- Література* [5,с. 62]
26. Системи з розподіленими параметрами описуються
Література [5,с. 159]
27. Вказати вираз для дисипативної функції Релея-Онзагера
Література [5,с. 107]
28. Обмін ентропії із зовнішнім середовищем можна виразити через
Література [5,с. 19]
29. Які з перерахованих нижче процесів є термодинамічно-незворотними?
Література [5,с. 36]
30. Індекс Пуанкаре для сідла дорівнює
Література [5,с. 85]
31. Різні типи траєкторій на фазовій площині розділяються
Література [5,с. 17]
32. Відкриті термодинамічні системи можуть обмінюватися із зовнішнім середовищем
Література [5,с. 17]
33. Індекс Пуанкаре для вузла дорівнює
Література [5,с. 85]
34. Вказати випадок, коли у системі встановлюється стаціонарний стан
Література [5,с. 138]
35. Системи з зосередженими параметрами описуються
Література [5,с. 158]

2. ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ (Другий семестр)

2.1. Лекційні модулі Лекційний модуль №2 (2 семестр)

Код	Назва модуля та тем	Кількість годин	
		аудиторні	СРС
ЗМ-Л3	Алгебра та топологія розподілів. Перетворення Фурь'є.		
	Тема 1. Функції які задають за допомогою рядів та інтегралів.	5	1
	Тема 2. Визначення розподілів.	5	1
	Тема 3. Аналіз розподілів.	4	2
	Тема 4. Фурь'є аналіз.	4	2
	Тема 5. Ряди та інтеграли Фурь'є.	4	2
	Модульна тестова контрольна робота 3		5
ЗМ-Л4	Уявлення про спеціальні функції.		
	Тема 1. Γ – функція.	4	1
	Тема 2. Функції Бесселя.	4	1
	Модульна тестова контрольна робота 4		5
	Іспит		20
	Разом:	30	40

Консультації: Герасимов О.І., згідно з графіком консультацій, затвердженим на засіданні кафедри: понеділок з 16.05 (ауд.301 (2));

Консультації: Кудашкіна Л.С., згідно з графіком консультацій, затвердженим на засіданні кафедри: п'ятниця з 16.05 (ауд.303 (2)).

2.2. Практичний модуль №2. (2-ий семестр)

Код	Назва модуля та тем	Кількість годин	
		аудиторні	СРС
ЗМ-П2	Тема 1. Застосування методів Фурь'є і Лапласа до розв'язків рівнянь хвильових процесів, дифузії та теплопровідності.	15	10
	Тема 2. Задачі Коші та її розв'язок.	15	10
	Разом:	30	20

Консультації: Кудашкіна Л.С., згідно з графіком консультацій, затвердженим на засіданні кафедри: п'ятниця з 16.05 (ауд.303 (2)).

2.3. Самостійна робота студента та контрольні заходи. Другий семестр.

Код модуля	Завдання на СРС та контрольні заходи	Кількість годин	Строк проведення
ЗМ-Л3	Підготовка до лекційних занять. Виконання модульної тестової контрольної роботи (обов'язковий).	8 5	2 сем.; 1-5 тиждень
ЗМ-П2	Підготовка до практичних занять. Підготовка до усного опитування (обов'язковий).	20	2 сем.; 1-14 тиждень
ЗМ-Л4	Підготовка до лекційних занять. Виконання модульної тестової контрольної роботи (обов'язковий).	2 5	2 сем.; 6-15 тиждень
	Підготовка до іспиту (обов'язковий)	20	
	Разом:	60	

2.3.1. Методика проведення та оцінювання контрольного заходу для ЗМ-Л3, ЗМ-Л4.

Організація контролю знань студентів побудована за накопичувально-модульним принципом згідно вимог діючого в університеті Положення «Про проведення підсумкового контролю знань студентів».

З *теоретичного* курсу навчальної дисципліни студент повинен бути готовим відповідати на усні запитання лектора під час лекційних занять.

Формами контролю засвоєння теоретичних знань є усне опитування під час лекційних занять (поточний контроль), модульні контрольні роботи за кожним змістовним модулем (внутрішньо семестровий контроль), складання іспиту (підсумкова атестація).

Варіанти модульних контрольних робіт містять запитання у тестовому вигляді. Кожна вірна відповідь оцінюється у 3 бали. Максимальна кількість балів за виконаний варіант кожної модульної контрольної роботи становить:

ЗМ-Л3- 30 балів, ЗМ-Л4- 30 балів.

Максимальна кількість балів, яку студент може отримати з лекційної частини, складає **60 балів**.

2.3.2. Методика проведення та оцінювання контрольного заходу для ЗМ-П2.

Формою контролю практичного модулю ЗМ-П2 є усне опитування та розв'язування задач під час проведення практичних занять за темами лекційного курсу. Всього за практичні заняття студент може отримати **40 балів**. До цієї оцінки входить окрім опитування оцінювання роботи під час розв'язування задач, систематичність підготовки до занять, систематичність відвідування.

2.3.3. Методика проведення та оцінювання контрольного заходу для семестрового іспиту

Підсумковий семестровий контроль (ПСК) передбачає дві форми оцінювання успішності засвоєння студентом навчального матеріалу дисципліни: кількісна оцінка (бал успішності); якісна оцінка. Кількісна оцінка (бал успішності) – це відсоток, який становить інтегральна сума балів, отриманих студентом на контролюючих заходах, відносно максимально можливої суми балів, яка визначена програмою навчальної дисципліни. Якісна оцінка – це оцінка, яка виставляється на підставі кількісної оцінки (балу успішності) за будь-якою якісною шкалою. В університеті використовуються такі шкали якісних оцінок: – чотирибальна (відмінно, добре, задовільно, незадовільно) – для форми семестрового контролю у вигляді семестрового іспиту (екзамену); – семибальна шкала оцінювання ECTS – використовується за кредитно-модульної системи організації навчального процесу.

Семестровий іспит (екзамен) – це письмова форма підсумкового контролюючого заходу в період заліково-екзаменаційної сесії. Під час екзамену перевіряється засвоєння студентом теоретичного та практичного матеріалу (знань, вмінь та навичок, що визначені у силлабусі навчальної дисципліни) з окремої навчальної дисципліни за семестр. Оцінювання успішності виконання студентом цього заходу здійснюється у формі кількісної оцінки (бал успішності). Допуск до іспиту за підсумками модульного накопичувального контролю регламентуються п. 2.4 Положення про проведення підсумкового контролю знань студентів, а саме, студент вважається допущеним до підсумкового семестрового контролю з конкретної навчальної дисципліни, якщо він виконав всі види робіт, передбачені робочою навчальною програмою дисципліни і набрав за модульною системою суму балів не менше 50% від максимально можливої за практичну частину дисципліни (для іспиту), тобто не менше 20 балів за **ЗМ-П2**.

Студент вважається допущеним до ПСК з навчальної дисципліни «Методи нелінійної динаміки та аналізу систем навколишнього середовища», якщо він виконав усі види робіт, передбачені робочою навчальною програмою дисципліни, і набрав за модульною системою суму балів не менше 50% від максимально можливої за практичну частину дисципліни для іспиту: 20 балів за

змістовний модуль ЗМ-П2. Кожен студент, який на день іспиту має допуск до ПСК з дисципліни, що закінчується іспитом, складає письмовий іспит (екзамен) за розкладом екзаменів.

Якщо студент на день екзамену не ліквідував заборгованість з практичної частини навчальної дисципліни, він не допускається до екзамену. Якщо студент ліквідував заборгованість по практичній частині до дня екзамену, то він допускається викладачем до екзамену.

Підсумкова контрольна робота (іспит) представляє собою тестові завдання, кожне з яких містить 20 запитань. Максимальна оцінка за результатами підсумкової атестації (іспиту) становить **100 балів**.

Загальна оцінка за семестр виводиться як середньоарифметичне за підсумками поточного контролю (з теоретичної та практичної частин) та оцінкою за іспит.

3. РЕКОМЕНДАЦІ ДО САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТІВ

3.1. Модуль ЗМ-ЛЗ «Алгебра та топологія розподілів. Перетворення Фурь'є».

3.1.1. Повчання

Тема 1. Функції які задають за допомогою рядів та інтегралів.

При вивченні теми звернути увагу на такі питання: відомості про ряди, інтеграл Лебега, вимірні функції.

Література [1, 2, 3]

Тема 2. Визначення розподілів.

При вивченні теми звернути увагу на такі питання: лінійний функціонал, білінійна форма, δ -розподіл Дірака, функція Хевісайда.

Література [1, 2, 3]

Тема 3. Аналіз розподілів.

При вивченні теми звернути увагу на такі питання: диференціювання розподілів.

Література [1, 2, 3]

Тема 4. Фурь'є аналіз.

При вивченні теми звернути увагу на такі питання: гармонійний аналіз, тригонометричні ряди, коефіцієнти Фурь'є.

Література [1, 2]

Тема 5. Ряди та інтеграли Фурь'є.

При вивченні теми звернути увагу на такі питання: образ Фурь'є, перетворення Фурь'є, перетворення Лапласа.

Література [1, 2, 3]

3.1.2. Питання для самоперевірки:

- 1.* Детерміновані моделі екологічних систем
- 2.* Стохастичні моделі екологічних систем
- 3.* Лінійні і нелінійні моделі екологічних систем
- 4.* Класифікація задач, що розв'язуються методами математичного моделювання.
- 5.* Закони збереження при виведенні рівняння коливань струни.
- 6.* Стаціонарна теплопередача та її рівняння.
- 7.* Класифікація диференціальних рівнянь у частинних похідних.
- 8.* Що описують еліптичні, параболічні та гіперболічні рівняння?
- 9.* Крайові задачі.
- 10.* Граничні умови.
- 11.* Задача Коші для хвильового рівняння.
- 12.* Власні значення і власні функції у задачі Штурма-Ліувілля.
13. Змішана крайова задача для хвильового рівняння.
14. Власні функції крайової задачі.
- 15.* Формула Даламбера для задачі про вільні коливання нескінченної струни.
- 16.* Рівняння теплопровідності стрижня з джерелом тепла.
- 17.* Рівняння Пуассона.
- 18.* Рівняння теплопровідності стрижня без джерела тепла з нульовою температурою на кінцях.
- 19.* Задача про вимушені коливання струни, що закріплена тільки на лівому боці.
- 20.* Тригонометричні ряди та гармонійний аналіз.
- 21.* Перетворення Фурь'є.
22. Які функції називаються ортогональними?
23. Ортогональність сферичних функцій.

(* - питання для самоперевірки базових результатів навчання -знань, вмінь, навичок).

3.2. Модуль ЗМ-Л4 «Уявлення про спеціальні функції».

3.2.1. Повчання

Тема 1. Γ – функція.

При вивченні теми звернути увагу на такі питання: властивості Γ – функції, застосування Γ – функції.

Література [1, 2, 3]

Тема 2. Функції Бесселя.

При вивченні теми звернути увагу на такі питання: властивості функцій Бесселя, застосування функцій Бесселя.

3.2.2. Питання для самоперевірки:

- 1.* Визначення гамма-функції.
- 2.* Основні властивості гамма-функцій.
- 3.* Визначення та властивості функції $V(p, q)$.
- 4.* Основна ідея розв'язання лінійних рівнянь другого порядку.
5. Визначення гіпергеометричного ряду. За яких умов він збіжний?
6. Властивості рекурентних перетворень у гіпергеометричних рядах.
- 7.* Визначення рівняння Лапласа.
- 8.* Схема розв'язання рівняння Лапласа методом Фур'є.
- 9.* Визначення функції Бесселя 1-го роду.
- 10.* Визначення функції Бесселя напівцілого порядку.
- 11.* Визначення функції Бесселя 2-го роду, або функції Неймана. Властивості функцій Неймана.
12. Визначення функції Бесселя 3-го роду, або функції Ханкеля.
- 13.* Визначення функції Бесселя від уявного аргументу. Ортогональність функцій Бесселя. Твірна функція функцій Бесселя.
- 14.* Інтеграл Бесселя і Пуассона та їх властивості.
15. Асимптотичне зображення функцій Бесселя.
- 16.* Застосування функцій Бесселя.
- 17.* Визначення сферичних функцій.
- 18.* Розкладання в ряд за сферичними функціями.
- 19.* Формула Родрига.
- 20.* Поліноми Лежандра.
- 21.* Ортогональність поліномів Лежандра.
22. Як визначається норма полінома Лежандра?
- 23.* Рекурентні співвідношення для поліномів Лежандра.
24. Рекурентні співвідношення для приєднаних поліномів Лежандра.
- 25.* Розкладання функцій у ряд за поліномами Лежандра.
- 26.* Інтеграл Лапласа.

(* - питання для самоперевірки базових результатів навчання - знань, вмінь, навичок).

3.3. Модуль ЗМ-П2 «Розв'язування задач за темами лекційних модулів ЗМ-Л3 – ЗМ-Л4»

3.3.1. Повчання

Тема 1. Застосування методів Фур'є і Лапласа до розв'язків рівнянь хвильових процесів, дифузії та теплопровідності.

Методичні вказівки та приклади розв'язування задач див.:

[1] Герасимов, О. І., Андріанова, І. С., Настасюк, В. А. (2019) Методи математичної і теоретичної фізики в задачах забезпечення довкілля: навчальний посібник. ОДЕКУ, Одеса – с. 39-43; [3] Герасимов О.І., Співак А.Я. Механіка суцільних середовищ. Конспект лекцій. Одеса: Одеський державний екологічний університет, 2008 – с. 6-7.

Тема 2. Задачі Коші та її розв'язок.

Методичні вказівки та приклади розв'язування задач див.:

[1] Герасимов, О. І., Андріанова, І. С., Настасюк, В. А. (2019) Методи математичної і теоретичної фізики в задачах забезпечення довкілля: навчальний посібник. ОДЕКУ, Одеса – с. 53-55; [2] Герасимов О.І. Методи математичної і теоретичної фізики в радіоекологічних дослідженнях. Конспект лекцій. ОДЕКУ, Одеса, 2013 – с. 29-33.

4. ПИТАННЯ ДО ЗАХОДІВ ПОТОЧНОГО, ПІДСУМКОВОГО ТА СЕМЕСТРОВОГО КОНТРОЛЮ (2 семестр)

4.1 Тестові питання до модульної контрольної роботи модуля ЗМ-ЛЗ.

1. Необоротні процеси в середовищах описуються –
Література [1,с.36]
2. Геофізичні поля характеризуються параметрами –
Література [1,с.130-132]
3. Мета використання математичних методів у природоохоронних дослідженнях –
Література [1,с.7]
4. Морські хвилі та поверхневі хвилі при землетрусах описують диференціальні рівняння у частинних похідних–
Література [1,с.9-10, 133]
5. З лінійності та однорідності рівняння дифузії впливає–
Література [1,с.44]
6. Моделювання дифузії в неоднорідному середовищі відбувається за допомогою рівняння вигляду–
Література [1,с.51-53, 93]
7. Окремі розв'язки рівняння, які не змінюються при масштабних перетвореннях та при поворотах відносно координатних осей на довільні кути, називають–
Література [1,с.54-55]
8. Вказати, яка із запропонованих математичних моделей відповідає системі частинок, що дифундують в циліндрі довжиною l з початковим розподілом $f(x)=e^{-5x}$ коли у циліндра один кінець ($x = 0$) закритий, а другий ($x = l$) відкритий–
Література [1,с.82]
9. Рівняння дифузії пов'язує потік частинок J_n з–
Література [1,с.39-40]

10. Для струни довжиною l , що виконує вільні коливання і має закріпленій правий кінець та вільний лівий, належними граничними умовами будуть умови вигляду –
Література [1, с. 20-23]
11. Хвилю з якими значеннями параметрів, довжина λ і висота h можна вважати лінійною? –
Література [1, с. 18-19]
12. Закон збереження речовини виражає рівняння –
Література [1, с. 43]
13. Диференціальні рівняння у частинних похідних еліптичного типу описують –
Література [1, с. 9-10]
14. Вкажіть власні функції граничної задачі $\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} - 9 \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} = 0$; $u(0, y) = u(1, y) = 0$ –
Література [1, с. 37]
15. Моделювання поширення хвиль у неоднорідному середовищі виконується за допомогою рівняння –
Література [1, с. 14-15]
16. У разі одновимірної дифузії вздовж осі Ox початкова умова записується у вигляді –
Література [1, с. 37-38]
17. Вкажіть формулу Д'Аламбера для задачі про вільні коливання нескінченної струни –
Література [1, с. 18]
18. Рівняння Пуассона належить до диференціальних рівнянь –
Література [1, с. 9-10]
19. Вкажіть тип диференціального рівняння $3 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} - 2 \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} - 5 \sin 4x = 0$ –
Література [1, с. 9-10]
20. Рівняння, яке має своїм розв'язком поодинокую хвилю виглядає як –
Література [1, с. 127]
21. Диференціальні рівняння у частинних похідних еліптичного типу описують –
Література [1, с. 9-10]

4.2 Тестові питання до модульної контрольної роботи модуля ЗМ-Л4

1. Функція Бесселя є розв'язком рівняння –
Література [1, с. 65-66, 149-150]
2. Рекурентним співвідношенням для функцій Бесселя цілого порядку є –
Література [1, с. 67, 152]
3. Правильними формулами диференціювання функцій Бесселя є такі –
Література [1, с. 68, 155-156]

4. Лаплас-зображенням функції $\sin \omega t$ є функція–
Література [1,с.136-137]
5. Фур'є-зображенням функції $f(x)$, яка дорівнює самому аргументові при $|x| \leq 1$ та нулю при $|x| > 0$, є–
Література [1,с.138-139]
6. Диференціювання Лаплас-зображення $F(p)$ деякої функції $f(t)$ зводиться до –
Література [1,с.141-143]
7. Інтеграл від Лаплас-образа деякої функції $f(t)$, $\int_0^{\infty} F(p)dp$, коли збігається слугує зображенням функції–
Література [1,с.142]
8. Нехай $f(t)$ і $g(t)$ мають своїми зображеннями функції $F(p)$ та $G(p)$. Тоді зображенням добутку $f(t)g(t)$ є–
Література [1,с.144-145]
9. Лаплас-зображенням дельта-функції $\delta(t-\tau)$ є–
Література [1,с.140]
10. Задачі математичного моделювання у природоохоронних дослідженнях–
Література [1,с.7]
11. У виразі для конвективної частини потоку домішкових частинок вектор швидкості стосується–
Література [1,с.70]
12. Випадкові (марківські) процеси описуються такими параметрами–
Література [1,с.7]
13. Диференціальні рівняння у частинних похідних параболічного типу описують–
Література [1,с. 9-10]
14. Рівняння Лапласа $\Delta U=0$ (де, наприклад, U – потенціал гравітаційного поля) належить до диференціальних рівнянь–
Література [1,с. 9-10]
15. Запис $\frac{\partial \rho}{\partial t} + \operatorname{div} \rho \vec{v} = 0$ має назву рівняння–
Література [1,с.10-11]
16. За способом отримання моделі поділяються на–
Література [1,с.7]
17. Моделювання процесу дифузії в неоднорідному середовищі виконується за допомогою рівняння вигляду–
Література [1,с. 51-53, 93]
18. Кореляційна функція визначає–
Література [3,с.40-41]
19. Функція розподілу–
Література [2,с.27-29]
20. Рівнянням Смолуховського є–
Література [1,с.7]

21. Солітон це –
Література [1, с. 7]

4.3 Тестові завдання до екзаменаційної роботи (2 семестр)

1. Мета використання математичних методів у природоохоронних дослідженнях –

Література [1, с. 7]

2. За способом отримання моделі поділяються на –

Література [1, с. 7]

3. Диференціальні рівняння у частинних похідних гіперболічного типу описують –

Література [1, с. 9-10]

4. Рівняння Лапласа $\Delta U = 0$ (де U , наприклад, - потенціал гравітаційного поля) відноситься до диференціальних рівнянь –

Література [1, с. 9-10]

5. Рівняння $\frac{\partial \rho}{\partial t} + \operatorname{div}(\rho \mathbf{v}) = 0$ має назву рівняння –

Література [1, с. 10-11]

6. Моделювання процесу дифузії в неоднорідному середовищі виконується за допомогою рівняння вигляду –

Література [1, с. 51-53]

7. Окремі розв'язки рівняння $\frac{\partial u}{\partial t} = a^2 \Delta u$, які не змінюються при масштабних

перетвореннях координатних осей на довільні кути називають –

Література [1, с. 54-55]

8. У випадку одновимірної дифузії вздовж осі Ox початкова умова записується у вигляді –

Література [1, с. 12-13]

9. Гранична умова $D \frac{\partial \rho}{\partial x} \Big|_{x=0} = b \rho \Big|_{x=0}$, яка записана для випадку одновимірної дифузії на відріжку є граничною умовою –

Література [1, с. 11-12]

10. Фізична кінетика це –

Література [1, с. 91]

11. Якщо реакція відбувається за схемою $A + X \leftrightarrow AX \rightarrow X + X$ (як, скажімо, реакція омилення ефіру $\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5 + \text{H}_2\text{O} + \text{H}^+ \rightarrow \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{C}_2\text{H}_5\text{OH} + 2\text{H}^+$), то чи є вона автокаталітичною? –

Література [1, с. 7]

12. Хаос у динамічній системі це –

Література [1, с. 7]

13. Точка фазового простору відповідає –

Література [1, с. 7]

14. За характером відображених властивостей об'єкту моделі поділяються на –
Література [1,с.7]
15. Рівняння Пуассона $\Delta U = -4\pi G\rho$ належить до диференціальних рівнянь –
Література [1,с. 9-10]
16. Рівняння $\frac{\partial \rho}{\partial t} = D\Delta\rho$ має назву рівняння –
Література [1,с.9-10]
17. Рівняння теплопровідності пов'язує потік тепла J_q з –
Література [1,с.43]
18. Вектор густини конвективного потоку домішкових частинок надає вираз –
Література [1,с.7]
19. Моделювання розповсюдження хвиль у неоднорідному середовищі виконується за допомогою рівняння виду –
Література [1,с.12-14]
20. Графіки автотельних розв'язків одновимірного рівняння дифузії $\frac{\partial \rho}{\partial t} = D \frac{\partial^2 \rho}{\partial x^2}$ –
Література [1,с.60-61]
21. Умови $\rho|_{x=0} = 0$, $\rho|_{x=l} = 0$, які записані для випадку одновимірної дифузії на відріжку є граничними умовами –
Література [1,с.70-71]
22. Рішення стохастичних рівнянь описують –
Література [1,с.7]
23. Релаксаційні коливання мають форму –
Література [3,с.43-45]
24. Гліколіз це –
Література [1,с.7]
25. Критерій Ляпунова визначає –
Література [1,с.7]
26. Формула Дебая-Хюккеля дається співвідношенням –
Література [1,с.7]
27. Правило Олсона-Сімонсона полягає у твердженні, що –
Література [1,с.7]
28. Фрактал це –
Література [1,с.7]
29. Рівняння дифузії $\frac{\partial \rho}{\partial t} = D \frac{\partial^2 \rho}{\partial x^2}$ належить до диференціальних рівнянь –
Література [1,с. 9-10]
30. Рівнянням Лапласа є рівняння –
Література [1,с. 9-10]
31. Рівняння Больцмана це –
Література [1,с. 9-10]
32. Морські хвилі та поверхневі хвилі при землетрусах описують

диференціальні рівняння у частинних похідних –

Література [1,с.13-14]

33. Елементарне виведення рівняння дифузії базується на законі –

Література [1,с.39-42]

34. За належністю до ієрархічного рівня моделі поділяються на –

Література [1,с.7]

35. Хвильове рівняння $\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = c^2 u$, де c – швидкість розповсюдження хвилі,

відноситься до рівнянь –

Література [1,с.12]

36. Рівнянням Пуассона є рівняння –

Література [1,с. 9-10]

37. У випадку стаціонарної дифузії диференціальне рівняння має вигляд–

Література [1,с.79-81]

38. В узагальненому рівнянні дифузії у правій частині рівняння

$$\frac{\partial n}{\partial t} = -\operatorname{div}(\mathbf{v}(\mathbf{r},t)n(\mathbf{r},t)) + \operatorname{div}(D(\mathbf{r})\operatorname{grad}n(\mathbf{r},t)) + f(n(\mathbf{r},t),\mathbf{r},t)$$

дифузійну частину потоку домішкових частинок ураховує –

Література [1,с.42]

39. Рівняння Кортвега де Вриза має вигляд –

Література [1,с.7]

5. ЛІТЕРАТУРА ДЛЯ ВИВЧЕННЯ ДИСЦИПЛІНИ

Основна література.

1. Герасимов, О. І., Андріанова, І. С., Настасюк, В. А. Методи математичної і теоретичної фізики в задачах забезпечення довкілля: навчальний посібник. Одеса: Видавничий дім «Гельветика», 2020. 160с.
<http://eprints.library.odku.edu.ua/id/eprint/6855/>
2. Герасимов О. І., Зеленін С.В. Методи математичної і теоретичної фізики в радіоекологічних дослідженнях. Конспект лекцій. ОДЕКУ, Одеса, 2013, 37 с.
3. Герасимов О.І., Співак А.Я. Механіка суцільних середовищ. Конспект лекцій. Одеса: Одеський державний екологічний університет, 2008, 63 с.
<http://eprints.library.odku.edu.ua/id/eprint/547/>
4. Г. П. Чуйко, О. В. Дворник, О. М. Яремчук. Математичне моделювання систем і процесів : навчальний посібник. Миколаїв : Вид-во ЧДУ імені Петра Могили, 2015. – 244 с.
5. Хусаїнов Д. Я., Шатирко А. В. Основи нелінійної динаміки. К.: Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет", 2017. – 159 с.

Додаткова література.

6. Заславский Г.М., Сагдеев Р.З. Введение в нелинейную физику: от маятника до турбулентности и хаоса. М.: Наука, 1988, 368с.
7. Пармон В. Н. Лекции по термодинамике неравновесных процессов для химиков: Учеб. пособие / Новосиб. гос. ун-т. Новосибирск, 2004, 296с. Anatole Katok and Boris Hasselblatt (1996). Introduction to the modern theory of dynamical systems. Cambridge. ISBN 0-521-57557-5.
8. Lorenz, E. N. (1963). «Deterministic nonperiodic flow». J. Atmos. Sci. 20: 130–141.
9. Пригожин И., Стенгерс И. Порядок из хаоса: Новый диалог человека с природой. – М., 1986.
10. Пригожин И. От существующего к возникающему. – М., 1985.