

Додаток до робочої програми навчальної дисципліни  
«Алгоритми комп'ютерної фізики»

Дію робочої програми продовжено: на 2021/2022 н. р.

Заступник декана факультету комп'ютерних наук з навчальної роботи



Євгенія КОЛОВАНОВА

«25» червня 2021 р.

Голова науково-методичної комісії факультету комп'ютерних наук



Анатолій БЕРДНІКОВ

«25» червня 2021 р.

Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна  
Кафедра штучного інтелекту та програмного забезпечення

**“ЗАТВЕРДЖУЮ”**

Проректор  
з науково-педагогічної роботи



Антон ПАНТЕЛЕЙМОНОВ

08 2020 р.

**РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

**Алгоритми комп'ютерної фізики**

рівень вищої освіти	перший (бакалаврський) рівень
галузь знань	12 Інформаційні технології
спеціальність	122 Комп'ютерні науки
освітня програма	Комп'ютерні науки
спеціалізація	
вид дисципліни	за вибором
факультет	комп'ютерних наук

Програму рекомендовано до затвердження Вченою радою факультету комп'ютерних наук

«31» серпня 2020 року, протокол № 12


РОЗРОБНИК ПРОГРАМИ:

доктор фізико-математичних наук, професор кафедри штучного інтелекту та програмного забезпечення **Аверков Юрій Олегович**.

Програму схвалено на засіданні кафедри штучного інтелекту та програмного забезпечення

Протокол від «31» серпня 2020 року № 1

Завідувач кафедри штучного інтелекту та програмного забезпечення

  
Володимир КУКЛІН

Програму погоджено з гарантом освітньої програми 122 «Комп'ютерні науки»

Гарант освітньої програми 122 «Комп'ютерні науки»

  
Микола СТРВОЄДОВ

Програму погоджено методичною комісією факультету комп'ютерних наук

Протокол від «31» серпня 2020 року № 1

Голова методичної комісії факультету комп'ютерних наук

  
Анатолій БЕРДНІКОВ

## ВСТУП

Програма навчальної дисципліни «Алгоритми комп'ютерної фізики» складена відповідно до освітньо-професійної програми підготовки першого (бакалаврського) рівня вищої освіти, спеціальність: 122 «Комп'ютерні науки».

### 1. Опис навчальної дисципліни

1.1. Формування у студентів теоретичних знань та практичних навичок у застосуванні методів математичного моделювання для комп'ютерного дослідження складних фізичних процесів. Зокрема для дослідження складної лінійної та нелінійної динаміки фізичних систем. Важливою метою також є вказати студентам шлях як «навчити» комп'ютер щоб він давав відповіді на питання, що нас хвилюють, а також навчити їх нелінійному мисленню.

1.2. Основними завданнями вивчення дисципліни є:

- ознайомлення з ключовими елементами, які описують лінійні та нелінійні процеси у фізичних системах;
- навчання майбутніх фахівців теорії та практиці застосування математичного моделювання. Зокрема вірного використання законів збереження та інтегралів;
- навчання розгледіти у складних математичних (комп'ютерних) розрахунках ключові елементи, що характеризують динаміку процесу.

В ході вивчення дисципліни у студента повинні формуватися наступні компетентності.

*Загальні компетентності (ЗК).*

- ЗК1. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.
- ЗК2. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.
- ЗК3. Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності.
- ЗК4. Здатність спілкуватися державною мовою як усно, так і письмово.
- ЗК5. Здатність спілкуватися іноземною мовою.
- ЗК6. Здатність вчитися й оволодівати сучасними знаннями.
- ЗК7. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.
- ЗК8. Здатність генерувати нові ідеї (креативність).
- ЗК10. Здатність бути критичним і самокритичним.
- ЗК11. Здатність приймати обґрунтовані рішення.
- ЗК12. Здатність оцінювати та забезпечувати якість виконуваних робіт.

*Спеціальні (фахові, предметні) компетентності (ФК)*

- ФК1. Здатність до математичного формулювання досліджування неперервних та дискретних математичних моделей, обґрунтування вибору методів і підходів для розв'язування теоретичних і прикладних задач у галузі комп'ютерних наук, аналізу та інтерпретування.
- ФК3. Здатність до логічного мислення, побудови логічних висновків, використання формальних мов і моделей алгоритмічних обчислень, проектування, розроблення й аналізу алгоритмів, оцінювання їх ефективності та складності, розв'язності та нерозв'язності алгоритмічних проблем для адекватного моделювання предметних областей і створення програмних та інформаційних систем.

- ФК4. Здатність використовувати сучасні методи математичного моделювання об'єктів, процесів і явищ, розробляти моделі й алгоритми чисельного розв'язування задач математичного моделювання, враховувати похибки наближеного чисельного розв'язування професійних задач.
- ФК7. Здатність застосовувати теоретичні та практичні основи методології та технології моделювання для дослідження характеристик і поведінки складних об'єктів і систем, проводити обчислювальні експерименти з обробкою й аналізом результатів.

1.3. Кількість кредитів – 4

1.4. Загальна кількість годин – 120

1.5. Характеристика навчальної дисципліни	
Нормативна / за вибором	
денна форма навчання	Заочна (дистанційна) форма навчання
Рік підготовки	
3-й	
Семестр	
5-й	
Лекції	
32 год.	_____ год.
Практичні, семінарські заняття	
_____ год.	_____ год.
Лабораторні заняття	
32 год.	_____ год.
Самостійна робота	
56 год.	_____ год.
В т.ч. індивідуальні завдання	
9 год.	_____ год.

В результаті вивчення дисципліни у студента повинні сформуватися наступні програмні результати навчання (ПРН).

- **ПРН 1.** Застосовувати знання основних форм і законів абстрактно-логічного мислення, основ методології наукового пізнання, форм і методів вилучення, аналізу, обробки та синтезу інформації в предметній області комп'ютерних наук.
- **ПРН 2.** Використовувати сучасний математичний апарат неперервного та дискретного аналізу, лінійної алгебри, аналітичної геометрії, в професійній діяльності для розв'язання задач теоретичного та прикладного характеру в процесі проектування та реалізації об'єктів інформатизації.
- **ПРН 6.** Використовувати методи чисельного диференціювання та інтегрування функцій, розв'язання звичайних диференціальних та інтегральних рівнянь, особливостей чисельних методів та можливостей їх адаптації до інженерних задач, мати навички програмної реалізації чисельних методів.

## 2. Тематичний план навчальної дисципліни

### **Розділ 1. Введення до нелінійної динаміки.**

#### *Тема 1. Введення у дослідження нелінійної динаміки.*

Лінійні осцилятори з загасанням. Автономні системи. Консервативні системи. Принцип суперпозиції. Особливі (стаціонарні) точки. Класифікація особливих точок: стійкий та нестійкий фокуси; центри, вузли, сідлові точки.

#### *Тема 2. Біфуркації.*

Приклади найбільш важливих біфуркацій.

#### *Тема 3. Фазовий простір.*

Розмірність фазового простору. Інтегральні криві. Особливі траєкторії (сепаратрис).

#### *Тема 4. Ізохронні та неізохронні коливання. Резонанси.*

Позитивне та негативне тертя. Обмеження рівня коливань при резонансах, які обумовлені загасанням. Параметричний резонанс. Вплив загасання на параметричний резонанс (поріг параметричної нестійкості). Теорема Флоке.

#### *Тема 5. Наближені розв'язки рівняння математичного маятника без загасання. Рівняння Дюфінга. Секулярні члени. Метод збурень. Перше гармонійне наближення.*

#### *Тема 6. Маятник Дюфінга без урахування загасання. Секулярні члени. Метод Гальоркіна-Рітца. Метод оптимальної лінеаризації.*

#### *Тема 7. Точне розв'язок рівняння Дюфінга без урахування загасання через еліптичні інтеграли.*

#### *Тема 8. Маятник Дюфінга з урахуванням малого загасання. Вимушені коливання. Нелінійний резонанс.*

### **Розділ 2. Алгоритми побудови математичних моделей, типу моделі "Мир-1", яка описує динаміку економіки Миру**

#### *Тема 1. Зв'язані лінійні осцилятори.*

Парціальні та нормальні частоти. Зв'язок між ними. Вплив зовнішньої сили на систему з двох зв'язаних осциляторів. Теорема взаємності.

#### *Тема 2. Фундаментальні ефекти нелінійності. Якісний рівень.*

Неізохронність. Ангармонізм.

### **Розділ 3. Алгоритми аналізу складних явищ, які виникають при їх комп'ютерному моделюванні.**

#### *Тема 1. Автоколивання.*

Мультистабільність. Басейни притягання.

#### *Тема 2. Виникнення непередбачення. Динамічний хаос.*

Найпростіші приклади обґрунтування статистичної фізики. Зіткнення пружних куль. Точечне відображення. Січна без точок торкання. Діаграма Ламерея. Драбина Ламерея. Стаціонарні точки. Стійкість стаціонарних точок. Мультиплікатор. Виникнення циклів. Стійкі та нестійкі цикли. Біфуркація. Біфуркація Фейгенбаума. Сценарії переходу до динамічного хаосу. Парадигми динамічного хаосу: нелінійність; локальна нестійкість; число ступенів вільності більше або рівняється 1.5. Критерії динамічного хаосу. Критерії

Ляпунова. Критерії Мельнікова. Критерії Чирікова Критерій Ляпунова виникнення динамічного хаосу.

***Розділ 4. Розв'язання практичних задач за допомогою MathCad, MATLAB та Mathematica.***

*Тема 1. Рівняння Ван-дер-Поля.*

Механізми виникнення гармонік та субгармонік.

*Тема 2. Граничні цикли. Біфуркації.*

Стійкі та нестійкі граничні цикли. Теорема Бендиксона. М'яке та жорстке збудження автоколивань. Релаксаційні автоколивання. Біфуркація Андронова-Хопфа. Гістерезис. Рівняння Дюффінга. Біфуркація злиття стійкого та нестійкого стану – катастрофа. Дисипативні системи. Стиснення фазового об'єму.

***Розділ 5. Розв'язання практичних задач відносно до хаотичної динаміки (за допомогою MathCad, MATLAB та Mathematica).***

*Тема 1. Квантовий ефект Зенона - як приклад динаміки лінійних осциляторів.*

Ефект квантової дзиги.

*Тема 2. Вторинні резонанси. Перехід до глобальної стохастичності.*

Можливість параметричного збудження двох зв'язаних високочастотних осциляторів зовнішнім низькочастотним збуренням. Динаміка руху зарядженої частинки в полі двох повздовжніх електромагнітних хвиль. Ергодичність. Умови виникнення ергодичності.

## 3. Структура навчальної дисципліни

Назви розділів і тем	Кількість годин								
	Денна форма								
	Усього	у тому числі							
		л		п		лаб		інд.	ср
ауд.		дист.	ауд.	дист.	ауд.	дист.			
<b>Розділ 1. Введення до нелінійної динаміки</b>									
Тема 1. Введення у дослідження нелінійної динаміки.	6		2			2			2
Тема 2. Біфуркації	6		2			2			2
Тема 3. Фазовий простір	6		2			2			2
Тема 4. Ізохронні та неізохронні коливання. Резонанси	6		2			2			2
Тема 5. Наближені розв'язки рівняння математичного маятника без загасання. Рівняння Дюфінга. Секулярні члени. Метод збурень. Перше гармонійне наближення.	6		2			2			2
Тема 6. Маятник Дюфінга без урахування загасання. Секулярні члени. Метод Гальоркіна-Рітца. Метод оптимальної лінеаризації.	6		2			2			2
Тема 7. Точний розв'язок рівняння Дюфінга без урахування загасання через еліптичні інтеграли.	6		2			2			2
Тема 8. Маятник Дюфінга з урахуванням малого загасання. Вимушені коливання. Нелінійний резонанс.	6		2			2			2
<b>Разом за розділом 1</b>	<b>48</b>		<b>16</b>			<b>16</b>			<b>16</b>
<b>Розділ 2. Алгоритми побудови математичних моделей, типу моделі "Мир-1", яка описує динаміку економіки Миру</b>									
Тема 1. Зв'язані лінійні осцилятори	10		2			2			6
Тема 2. Фундаментальні ефекти нелінійності. Якісний рівень	10		2			2			6
<b>Разом за розділом 2</b>	<b>20</b>		<b>4</b>			<b>4</b>			<b>12</b>
<b>Розділ 3. Алгоритми аналізу складних явищ, які виникають при їх комп'ютерному моделюванні.</b>									
Тема 1. Автоколивання	8		2			2			4
Тема 2. Виникнення не передбачення. Динамічний хаос	8		2			2			4
<b>Разом за розділом 3</b>	<b>16</b>		<b>4</b>			<b>4</b>			<b>8</b>
<b>Розділ 4. Розв'язання практичних задач за допомогою MathCad, MATLAB та Mathematica</b>									
Тема 1. Рівняння Ван-дер-Поля.	10		2			2			6
Тема 2. Граничні цикли	10		2			2			6
<b>Разом за розділом 4</b>	<b>20</b>		<b>4</b>			<b>4</b>			<b>12</b>
<b>Розділ 5. Розв'язання практичних задач відносно до хаотичної динаміки (за допомогою MathCad, MATLAB та Mathematica)</b>									
Тема 1. Квантовий ефект Зенона.	8		2			2			4
Тема 2. Вторинні резонанси. Перехід до глобальної стохастичності	8		2			2			4
<b>Разом за розділом 5</b>	<b>16</b>		<b>4</b>			<b>4</b>			<b>8</b>
<b>Усього годин</b>	<b>120</b>		<b>32</b>			<b>32</b>			<b>56</b>



#### 4. Теми практичних (лабораторних) занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
<b>Розділ 1. Введення до нелінійної динаміки</b>		
1	Введення у дослідження нелінійної динаміки. За допомогою математичного пакету Matlab або Mathcad створити програму комп'ютерного дослідження руху лінійного осцилятора з загасанням. Дослідити у рамках цих програм принцип суперпозиції. Особливі (стаціонарні) точки Використовуючи програми, що описують рух осциляторів, дослідити особливості руху у колі особливих точок. Дослідити різницю між стійкими та нестійкими точками.	2
2	Біфуркації Запрограмувати дослідження за допомогою комп'ютера осцилятора Ван-Дер-Поля. Знайти біфуркаційні параметри цього осцилятора.	2
3	За допомогою комп'ютера побудувати фазові траєкторії маятника Дюффінга без загасання. Встановити кількість характер особливих точок на фазовій площині. Класифікувати типи фазових траєкторій.	2
4	За допомогою комп'ютера відповідно до методами Гальоркіна-Рітца і оптимальної лінеаризації чисельно знайти частоти наближеного рішення рівняння Дюффінга і порівняти їх із значенням, отриманим методом збурень.	2
5	За допомогою комп'ютера отримати точні рішення рівняння Дюффінга без урахування загасання. Побудувати залежності кута і кутової швидкості від часу, а також залежність періоду коливань від величини модуля повного еліптичного інтеграла першого роду.	2
6	За допомогою комп'ютера побудувати фазові траєкторії маятника Дюффінга з урахуванням малого загасання. Встановити кількість характер особливих точок на фазовій площині. Класифікувати типи фазових траєкторій. Для вимушених коливань маятника Дюффінга побудувати залежності амплітуди вимушених коливань від частоти зовнішньої сили.	2
7	Фазовий простір Запрограмувати та дослідити динаміку математичного маятника. Знайти і дослідити особливості особливих точок та особливих траєкторій.	2
8	«Ізохронні та неізохронні коливання». На прикладі динаміки осцилятора Ван-Дер-Поля та динаміки лінійного осцилятора дослідити різницю між ізохронними та не ізохронними коливаннями. «Резонанси». Чисельними методами дослідити механізм стабілізації рівня лінійного осцилятора за рахунок наявності загасання. Порівняти ці результати з впливом загасання на осцилятори, що параметрично збуджуються. Знайти поріг параметричної нестійкості.	2
<b>Розділ 2. Алгоритми побудови математичних моделей, типу моделі "Мир-1", яка описує динаміку економіки Миру</b>		
1	«Зв'язані лінійні осцилятори». Створити програму, що описує коливання системи пов'язаних лінійних осциляторів. Дослідити появу нормальних часток. Порівняти нормальні та парціальні частоти.	2
2	«Фундаментальні ефекти нелінійності. Якісний рівень» На прикладах динаміки математичного маятника та осцилятора Ван-Дер-Поля дослідити ефекти не ізохронності та ангармонізму.	2
<b>Розділ 3. Алгоритми аналізу складних явищ, які виникають при їх комп'ютерному моделюванні.</b>		
1	Мультистабільність. Басейни притягання. Переходи між стабільними станами мультистабільних систем. Вплив зовнішнього та регулярного та шумового сигналу на осцилятор Дюффінга.	2
2	Зіткнення пружних куль. Точечне відображення. Діаграма Ламерея. Драбина Ламерея. Стаціонарні точки. Мультиплікатор. Виникнення циклів. Стійкі та нестійкі цикли. Біфуркація. Біфуркація Фейгенбаума. Сценарії переходу до динамічного хаосу. Парадигми та критерії динамічного хаосу.	2
<b>Розділ 4. Розв'язання практичних задач за допомогою MathCad, MATLAB та Mathematica</b>		
1	Рівняння Ван-дер-Поля. Механізми виникнення гармонік та субгармонік. Знаходження циклів в математичній моделі осцилятора Ван-дер-Поля.	2
2	Граничні цикли. Сталі та несталі граничні цикли. Теорема Бендіксона. Біфуркація Хопфа. Локальна нестійкість. М'яке та жорстке збудження автоколивань.	2
<b>Розділ 5. Розв'язання практичних задач відносно до хаотичної динаміки (за допомогою MathCad, MATLAB та Mathematica)</b>		
1	Квантовий ефект Зенона. Ефект Квантової дзиги.	2
2	Вторинні резонанси. Перехід до глобальної стохастичності. Параметричне збудження двох зв'язаних високочастотних осциляторів зовнішнім низькочастотним збуренням. Динаміка руху зарядженої частинки в полі двох повздовжніх електромагнітних хвиль. Ергодичність. Умови виникнення ергодичності.	2
<b>Разом</b>		<b>32</b>

## 5. Завдання для самостійної роботи

№ з/п	Види, зміст самостійної роботи	Кількість годин
<b>Розділ 1. Введення до нелінійної динаміки</b>		
1	Вивчення сучасного стану досліджень в галузі нелінійної динаміки.	2
2	Вивчити характер особливих (стаціонарних) точок, які використовуються.	2
3	Вивчити які найбільш поширені простори (Фазовий простір; простір параметрів; біфуркаційні діаграми).	2
4	Лінійні та нелінійні резонанси. Сінхронізація. Характерні особливості резонансів. Умови синхронізації.	2
5	Рівняння Дюфінга без загасання. Метод Ліндшедта-Пуанкаре.	2
6	Порівняльний аналіз наближених методів розв'язків рівняння Дюфінга без загасання.	2
7	Перехід від точних розв'язків рівняння нелінійного математичного маятника до точних розв'язків рівняння Дюфінга без урахування загасання.	2
8	Метод Раушера. Виведення законів руху вільних затухаючих коливань маятника Дюфінга для випадків в'язкого і кулонівського тертя. Виведення виразів для залежностей амплітуди і фази вимушених коливань маятника Дюфінга з урахуванням затухання.	2
<b>Розділ 2. Алгоритми побудови математичних моделей, типу моделі "Мир-1", яка описує динаміку економіки Миру</b>		
1	Динаміка системи пов'язаних лінійних осциляторів. Парціальні та нормальні коливання. Зв'язок між ними. Теорема взаємності. Динамічне демпфірування	3
	Головні критерії побудови математичних нелінійних моделей, які описують	4
2	Підготовка до контрольної роботи	5
<b>Розділ 3. Алгоритми аналізу складних явищ, які виникають при їх комп'ютерному моделюванні.</b>		
1	Механізми виникнення не передбачення. Моделі з динамічним хаосом та моделі при наявності зовнішнього адитивного та мультиплікативного шуму	2
2	Дискретні та неперервні моделі з хаотичною динамікою	2
3	Спектральний та кореляційний аналіз регулярних та хаотичних процесів	4
<b>Розділ 4. Розв'язання практичних задач за допомогою MathCad, MATLAB та Mathematica</b>		
1	Механізми виникнення сталих та несталих граничних циклів. Умови, які необхідні для виникнення граничних циклів.	3
2	Види біфуркацій. Умови виникнення локальної нестійкості.	3
3	Умови, які необхідно виконати для появи м'якого або жорсткого збудження.	2
4	Підготовка до контрольної роботи	4
<b>Розділ 5. Розв'язання практичних задач відносно до хаотичної динаміки (за допомогою MathCad, MATLAB та Mathematica)</b>		
1	Графічне зображення точкових відображень (Дробина Ламерея). Критерії стійкості та нестійкості. Цикли. Важливі точкові відображення.	4
2	Характеристики нелінійних резонансів. Критерії Мельнікова виникнення гомоклінічної структури.	4
3	Вивчення взаємодій типу частинка-хвиля та хвиля-хвиля. Стохастичний розпад хвиль.	4
	<b>Разом</b>	<b>56</b>

## 6. Індивідуальні завдання

2 контрольні роботи.

## 7. Методи навчання

Як правило лекційні та практичні заняття проводяться аудиторне. В умовах дії карантину заняття проводяться відповідно до Наказу ректора Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна (аудиторне або дистанційно за допомогою платформ Google Meet або Zoom).

## 8. Методи контролю

Контроль засвоєння навчального матеріалу здійснюється шляхом:

- відвідування лекційних занять;
- прийому та оцінювання звітів з виконання лабораторних робіт;
- проведення 2 контрольних робіт за результатами відпрацювання основних положень навчальної програми;
- проведення письмового екзаменаційного контролю знань.

## 9. Схема нарахування балів

**Розподіл балів для підсумкового семестрового контролю при проведенні семестрового екзамену**

Поточний контроль, самостійна робота, індивідуальні завдання																				
Розділ 1								Розділ 2		Розділ 3		Розділ 4		Розділ 5		Контрольна робота, передбачена навчальним		Разом	Письмова екзаменаційна	Сума
T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2	1	2			
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	14	14	60	40	100

## КРИТЕРІЇ ОЦІНКИ УСПІШНОСТІ ТА РЕЗУЛЬТАТІВ НАВЧАННЯ З КУРСУ «Алгоритми комп'ютерної фізики»

№	Форми навчальної діяльності	Кількість балів	Термін	Примітки
1	Відвідування лекцій	16	I семестр	
2	Надання звітів лабораторних занять	16	I семестр	
4	Дві контрольні роботи	14+14	I семестр	
5	Підсумковий контроль: екзамен	40	I семестр	
6	<b>ВСЬОГО</b>	<b>100</b>		
8	<b>Додаткові бали (бонуси):</b> Підготовка доповіді з теми яка розширює курс; Відповідь на додаткові питання для підсумкового контролю.			

### Відвідування лекцій:

**1 бал:** студент отримає за кожне відвідуване лекційне заняття;

**0 балів:** студент не відвідував лекційне заняття.

### Надання звіту з лабораторного заняття:

**1 бал:** студент надав звіт з лабораторного заняття;

**0 балів:** студент не відвідував практичні заняття.

### **Критерії оцінювання знань студентів під час контрольної роботи передбаченої навчальним планом (один звіт).**

#### **14 балів:**

- звіт підготовлений та поданий вчасно;
- звітну доповідь побудовано послідовно, системно, логічне;
- звіт є рішенням усіх поставлених завдань у повному обсязі (100%);

#### **13-12 бали:**

- звіт підготовлений та поданий вчасно;
- звітну доповідь побудовано в цілому послідовно, логічне;
- звіт є рішенням усіх поставлених завдань але не у повному обсязі (90%);

#### **11-10 бали:**

- звіт підготовлений та поданий вчасно;
- звітну доповідь побудовано в цілому послідовно, логічне;
- звіт є рішенням 75% поставлених завдань у повному обсязі;

#### **9-8 бали:**

- звіт підготовлений та поданий вчасно;
- звітну доповідь побудовано в цілому послідовно, логічне;
- звіт є рішенням 50% поставлених завдань у повному обсязі;

#### **7-6 бали:**

- звіт підготовлений із запізненням;
- звітну доповідь побудовано послідовно, системно, логічне;
- звіт є рішенням усіх поставлених завдань у повному обсязі (100%);

#### **5-4 бали:**

- звіт підготовлений із запізненням;
- звітну доповідь побудовано в цілому послідовно, логічне;
- звіт є рішенням 75% поставлених завдань у повному обсязі;

#### **3-2 бали:**

- звіт підготовлений не вчасно;
- звітну доповідь побудовано не завжди послідовно;
- звіт є рішенням менше за 50% поставлених завдань у повному обсязі;

#### **1 бал:**

- звіт підготовлений не вчасно;
- звітну доповідь побудовано здебільшого незадовільно;
- результати роботи не показані;

**0 балів:** звітна доповідь відсутня.

### **Критерії оцінювання екзаменаційних робіт студентів**

Екзаменаційний білет складається з 4 питань. Кожне питання оцінюється в 10 балів.

**9-10 балів:** Робота демонструє високий рівень засвоєння матеріалу курсу. При відповіді на екзаменаційний квиток теоретичні питання освітлені повністю, наведені приклади, якщо це необхідно, завдання вирішене правильно, чітко, логічне та послідовно, зроблені висновки

**7-8 балів:** При відповіді на екзаменаційний квиток теоретичні питання достатньо освітлені, в роботі наведені деякі з необхідних прикладів, завдання вирішене правильно з незначними помилками, зроблені висновки. Робота демонструє середній рівень засвоєння матеріалу курсу.

**5-6 балів:** Студент демонструє базове розуміння теми питання. При відповіді на екзаменаційний квиток теоретичні питання освітлені з помилками, завдання вирішене

помилками, в роботі не наведені необхідні приклади. Зроблені неповні висновки. Робота демонструє задовільний рівень засвоєння матеріалу курсу.

**3-4 бали:** Студент демонструє часткове розуміння теми питання. При відповіді на екзаменаційний квиток теоретичні питання освітлені з суттєвими помилками, завдання вирішене з помилками. Зроблені неповні висновки. Робота демонструє часткове засвоєння матеріалу курсу.

**1-2 бали:** Студент дещо помилково розуміє тему питання, не розкриває сутність питання. При відповіді на екзаменаційний квиток теоретичні питання освітлені з суттєвими помилками, завдання вирішене частково або не повністю. В роботі не наведені необхідні приклади, текст роботи викладено хаотично та нелогічно. Висновки неповні або відсутні. Робота демонструє незадовільний рівень засвоєння матеріалу курсу.

#### Шкала оцінювання

Сума балів за всі види навчальної діяльності протягом семестру	Оцінка	
	для чотирирівневої шкали оцінювання	для дворівневої шкали оцінювання
90 – 100	відмінно	зараховано
70-89	добре	
50-69	задовільно	
1-49	незадовільно	не зараховано

### 10. Рекомендована література

#### Основна література

1. Gould, H., Tobochnik, J. An Introduction to Computer Simulation Methods. – Addison-Wesley, 1988.
2. Rabinovich, M.I., Trubetskov, D.I. Oscillations and Waves: in Linear and Nonlinear Systems. – Springer, 1989.
3. Shen, S. S., A Course on Nonlinear Waves. – Springer Dordrecht, 2012.
4. Baker, G.L. Chaotic Dynamics: An Introduction. – Cambridge University Press, 1996.
5. Азаренков, М.О., Гірка, В.О., Лапшин, В.І., Муратов, В.І. Теорія коливань та хвиль. – Харків: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2005.
6. Василенко, М.В., Алексейчук, О.М. Теорія коливань і стійкості руху. – Київ: Вища школа, 2004.
7. Анісімов, І.О. Коливання та хвилі. – Київ: КНУ імені Тараса Шевченка, 2001.
8. Хусайнов, Д. Я., Шатирко, А. В. Основи нелінійної динаміки. – Київ: КНУ імені Тараса Шевченка, 2017.
9. Зінченко, А. Ю. Комп'ютерне моделювання детермінованого хаосу в складних нелінійних системах. – Київ: Київський міжнародний університет, 2021.
10. Вихлюк, Я. І., Камінський, Р. М., Пасічник, В. В. Моделювання складних систем. – Львів: Новий Світ – 2000, 2020.
11. Thompson, J. M. T., Stewart, H. B. Nonlinear Dynamics and Chaos. – Chichester: John Wiley and Sons, Ltd, 2002.
12. Пічкур, В. В., Капустян, О. В., Собчук, В. В. Теорія динамічних систем. – Луцьк: Вежа-Друк, 2020.
13. Кушлик-Дивульська, О. І., Поліщук, Н. В., Орел, Б. П., Штабальок, П. І. Теорія ймовірностей та математична статистика. – Київ: НТУУ «КПІ», 2014.
14. Гончаров, О. А., Васильєва, Л. В., Юнда, А. М. Чисельні методи розв'язання прикладних задач. – Суми: Сумський державний університет, 2020.
15. Самойленко, А. М., Перестюк, М. О., Парасюк, І. О. Диференціальні рівняння. – Київ: Либідь, 2003.

16. Кривошея, С. А., Перестюк, М. О., Бурим, В. М. Диференціальні та інтегральні рівняння. – Київ: Либідь, 2004.