



ОСНОВИ НЕЛІНІЙНОГО АНАЛІЗУ

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	Перший (бакалаврський)
Галузь знань	11 Математика і статистика
Спеціальність	113 Прикладна математика
Освітня програма	Математичні методи криптографічного захисту інформації
Статус дисципліни	Вибіркова
Форма навчання	очна (денна)
Рік підготовки, семестр	4 курс, весняний семестр
Обсяг дисципліни	Загальна кількість: (4 кр.) 120 год. Лекційних занять: 36 год. Практичних занять: 18 год. Самостійна робота студентів: 66 год.
Семестровий контроль / контрольні заходи	залік, поточний контроль, модульна контрольна робота
Розклад занять	https://schedule.kpi.ua
Мова викладання	Українська
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: Наказной Павло Олександрович (p.nakaznoy@kpi.ua). Практика: Наказной Павло Олександрович (@nakaznoy).
Розміщення курсу	

Програма навчальної дисципліни

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

Навчальна дисципліна «Основи нелінійного аналізу» є тією необхідною частиною математичних знань, яку має опанувати кожен спеціаліст в галузі математичного моделювання нелінійних явищ, тобто таких, що описуються нелінійними диференціальними рівняннями. Ця дисципліна грає значну роль у формуванні у майбутніх фахівців важливих компетенцій, що пов'язані із застосуванням математичного моделювання в різних сферах людської діяльності. Зважаючи на те, що фронт сучасних досягнень прикладної математики з кінця ХХ століття змістився в область моделювання саме нелінійних явищ як соціального, так і природничого характеру, майбутньому фахівцю з прикладної математики вкрай необхідно знати засади математичного аналізу нелінійних явищ і володіти відповідними математичними методами.

Після засвоєння навчальної дисципліни студенти мають продемонструвати такі результати навчання:

- знання:**
1. засад якісної теорії нелінійних диференціальних рівнянь, що лежать на перетині топології, вищої геометрії та звичайного математичного аналізу;

2. основ теорії стійкості;
3. засад теорії біфуркації і теорії катастроф;
4. засад теорії хаосу і синергетичних методів аналізу нелінійних явищ.

уміння: аналізувати, спираючись на отримані знання, виникаючі задачі з математичного моделювання та знаходити методи їх розв'язання.

досвід: мати навички використання математичного аналізу, теорії диференціальних рівнянь, теорії ймовірності та комп'ютерного моделювання.

Після засвоєння навчальної дисципліни студенти мають продемонструвати такі результати навчання:

Загальні компетентності СВО

- ЗК 2: Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.
- ЗК 5: Здатність проведення досліджень на відповідному рівні.
- ЗК 6: Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.
- ЗК 8: Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності.

Фахові компетентності СВО

- ФК 1: Здатність використовувати й адаптувати математичні теорії, методи та прийоми для доведення математичних тверджень і теорем.
- ФК 2: Здатність виконувати завдання, сформульовані у математичній формі.
- ФК 3: Здатність обирати та застосовувати математичні методи для розв'язання прикладних задач, моделювання, аналізу, проектування, керування, прогнозування, прийняття рішень.
- ФК 9: Здатність до проведення математичного і комп'ютерного моделювання, аналізу та обробки даних, обчислювального експерименту, розв'язання формалізованих задач за допомогою спеціалізованих програмних засобів.
- ФК 14: Здатність сформулювати математичну постановку задачі, спираючись на постановку мовою предметної галузі, та обирати метод її розв'язання, що забезпечує потрібні точність і надійність результату.

Програмні результати навчання

- РН 1: Демонструвати знання й розуміння основних концепцій, принципів, теорій прикладної математики і використовувати їх на практиці.
- РН 2: Володіти основними положеннями та методами математичного, комплексного та функціонального аналізу, лінійної алгебри та теорії чисел, аналітичної геометрії, теорії диференціальних рівнянь, зокрема рівнянь у частинних похідних, теорії ймовірностей, математичної статистики та випадкових процесів, чисельними методами.
- РН 3: Формалізувати задачі, сформульовані мовою певної предметної галузі; формулювати їх математичну постановку та обирати раціональний метод вирішення; розв'язувати отримані задачі аналітичними та чисельними методами, оцінювати точність та достовірність отриманих результатів
- РН 6: Володіти основними методами розробки дискретних і неперервних математичних моделей об'єктів та процесів, аналітичного дослідження цих моделей на предмет існування та єдиності їх розв'язку.

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

Для вивчення матеріалу курсу «Основи нелінійного аналізу» необхідне успішне засвоєння курсу:

1. Математичний аналіз (ЗО7);
2. Диференціальні рівняння (ЗО8);
3. Алгебра та геометрія (ЗО11).

Отримані практичні навички та засвоєні теоретичні знання під час вивчення навчальної дисципліни «Основи нелінійного аналізу» можна використовувати в подальшому для моделювання нелінійних явищ різної природи.

3. Зміст навчальної дисципліни

Розділ 1. Нелінійні динамічні системи

Вступ.

- Тема 1.1 Фазовий простір та його еволюційні рівняння.
- Тема 1.2 Теорема Ліувілля–Остроградського.
- Тема 1.3 Математичні моделі і класифікація динамічних систем.
- Тема 1.4 Основні типи задач в теорії динамічних систем.
- Тема 1.5 Особливі (нерухомі, стаціонарні) точки.
- Тема 1.6 Особливі криві.
- Тема 1.7 Топологічні характеристики фазового простору.
- Тема 1.8 Стійкість: теорія стійкості, типи стійкості.
- Тема 1.9 Біфуркація в динамічній системі та елементи теорії катастроф.
- Тема 1.10 Теорема Ляпунова про глобальну стійкість.

Розділ 2. Хаос і фрактали

- Тема 2.1 Відображення.
- Тема 2.2 Логістичне відображення.
- Тема 2.3 Показники Ляпунова і кінематика хаотичного руху.
- Тема 2.4 Фрактали.
- Тема 2.5 Критерії хаосу. Ентропія КС (Колмогорова-Крилова-Синая).
- Тема 2.6 Дивний (стохастичний) аттрактор.
- Тема 2.7 Сценарії переходу до хаосу.

Розділ 3. Дисипативні структури. Синергетика.

- Тема 3.1 Дисипативні структури. Синергетика. Самоорганізація (ідеологія). Базові приклади реальних явищ теорія самоорганізації.

4. Навчальні матеріали та ресурси

Нижче наводиться перелік навчальних матеріалів та ресурсів для засвоєння матеріалу, розглянутого на лекційних заняттях та для додаткового вивчення. Його поділено на базові, які слід вивчати у першу чергу та додаткові, до яких можна звертатись факультативно.

Базові підручники та посібники

1. О. В. Кравцов та Г. О. Южакова. **Основи нелінійного аналізу. Конспект лекцій**. К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 156 с.
2. А. В. Свідзинський. Математичні методи теоретичної фізики. Том 1: Підручник. – Вид. 4-те, доповн. і переробл. У 2-х томах. К.: Інститут теоретичної фізики ім. М.М. Боголюбова НАН України, 2009. 394 с.
3. А. В. Свідзинський. Математичні методи теоретичної фізики. Том 2: Підручник. – Вид. 4-те, доповн. і переробл. У 2-х томах. К.: Інститут теоретичної фізики ім. М.М. Боголюбова НАН України, 2009. 436 с.
4. J. C. Sprott. *Elegant Chaos: Algebraically Simple Chaotic Flows*. World Scientific Pub Co (, 2010. 302 pp.
5. H. Sayama. *Introduction to the Modeling and Analysis of Complex Systems*. Open SUNY Textbooks, 2015. 480 pp.
8. J. D. Crawford. “Introduction to bifurcation theory”. In: *Reviews of Modern Physics* (1991).

Додаткові підручники та посібники

6. R. Penrose. *The road to reality*. Vintage, 2007. 1123 pp.
7. Yuri A. Kuznetsov. *Elements of Applied Bifurcation Theory*. 3rd ed. Applied Mathematical Sciences 112. Springer, 2004. 648 pp.
8. J. D. Crawford. “Introduction to bifurcation theory”. In: *Reviews of Modern Physics* (1991).
9. M. J. Feigenbaum. “Universal behavior in nonlinear systems”. In: *Physica* (1978).
10. B. B. Mandelbrot. *The Fractal Geometry of Nature*. W. H. Freeman and Company, 1982. 468 pp.
11. V. I. Arnold. *Catastrophe Theory*. 3rd ed. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1992. 160 pp.
12. T. Poston and I. Stewart. *Catastrophe Theory and Its Applications*. Surveys and Reference Works in Mathematics, 2. Pitman, 1979. 513 pp.
13. M. Tabor. *Chaos and Integrability in Nonlinear Dynamics: An Introduction*. Wiley-Interscience, 1989. 373 pp.
15. A. Carrassi, M. Bocquet, J. Demaeyer, C. Grudzien, P. Raanes та S. Vannitsem. **Data assimilation for chaotic dynamics**. 2020. DOI: [10.48550/ARXIV.2010.07063](https://doi.org/10.48550/ARXIV.2010.07063).
16. F. Hummel, P. Ashwin та C. Kuehn. **Reduction Methods in Climate Dynamics – A Brief Review**. 2022. DOI: [10.48550/ARXIV.2209.12240](https://doi.org/10.48550/ARXIV.2209.12240).

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Навчання здійснюється на основі студентоцентрованого підходу та стратегії взаємодії викладача та студента для засвоєння студентами матеріалу та розвитку у них практичних навичок. Для лекційних занять використовуються пояснювально-ілюстративний метод та метод проблемного викладу.

Для дистанційної форми навчання записи пар зберігаються на Youtube, контрольні завдання виконуються у Google Classroom. Заняття проводяться за допомогою платформи Microsoft Teams, інформаційні повідомлення та обговорення поза парами здійснюються в каналі Telegram та приєднаному чаті.

Лекційні заняття

№	Назва теми лекції та перелік основних питань
Розділ I. Нелінійні динамічні системи.	
1.	<p>Тема 1.1 Фазовий простір та його еволюційні рівняння.</p> <p>Вступ. Визначення фазового простору, фазової точки та фазової траєкторії. Розмірність фазового простору як кількість функцій, необхідних для опису стану системи. Введення понять динамічної системи, автономності динамічної системи, особливої точки системи. Теорема Бендіксона–Пуанкаре (без доведення). Типи особливих точок і фазових траєкторій на площині, а також фазовий портрет системи як зображення траєкторій її руху. Поняття аттрактора як притягуючої області фазового простору будь-якої розмірності.</p>
2.	<p>Тема 1.2 Теорема Ліувілля–Остроградського. Автономна динамічна система у n-мірному фазовому просторі, поняття елементу фазового простору, області фазового простору. Зміна координат точок траєкторії системи у фазовому просторі як результат застосування до них деякої функції, в результаті чого між координатами виникає взаємно-однозначне відображення. Якобіан перетворення систем координат у вищезазначеному випадку. Два наслідки теореми Ліувілля–Остроградського: наслідок у випадку розгляду гамільтонових систем та випадку малої області фазового простору.</p>
3.	<p>Тема 1.3 Математичні моделі і класифікація динамічних систем.. Поняття динамічної системи, дві моделі динамічних систем: модель-потік та модель-відображення. Основні джерела виникнення моделей-відображень: системи з характерним часовим масштабом; моделями з дискретними різницевиими схемами; систем, що утворені об'єктами з дискретним рахунком часу. Класифікація динамічних систем: автономні та неавтономні, консервативні та дисипативні динамічні системи. Локальна дисипація динамічної системи.</p>
4.	<p>Тема 1.4 Основні типи задач в теорії динамічних систем.. Задача Коші та її наслідки про перетин та самоперетин фазових траєкторій. Задача дослідження стійкості руху. Поняття стійкості за Ляпуновим, орбітальної стійкості (стійкості за Пуанкаре), асимптотичної та експоненціальної стійкості як часткових випадків стійкості за Ляпуновим. Задача дослідження структури фазового простору. Особливі фазові траєкторії. Фінітний, інфінітний, хаотичний та регулярний рух, експоненціальна нестійкість за Ляпуновим, показник Ляпунова. Задача дослідження динамічної системи. Поняття біфуркації та точок біфуркації, сценарії переходу до хаосу.</p>
5.	<p>Тема 1.5 Особливі (нерухомі, стаціонарні) точки.. Особливі (нерухомі, стаціонарні) точки. Знаходження особливих точок та фазових траєкторій для динамічних одновимірних систем другого порядку. Етапи лінійного аналізу стійкості систем. Зображення областей фазової площини з рухом, що якісно відрізняється, за результатами аналізу для розглянутої динамічної системи. Структурна стійкість динамічної системи. Стійкі та нестійкі напрями руху для динамічних систем з розмірністю фазового простору $n > 2$.</p>
6.	<p>Тема 1.6 Особливі криві.. Поняття граничного циклу (циклу Пуанкаре), приклади систем з граничними циклами. Рівняння Ван дер Поля. Знаходження розв'язків, що відповідають граничним циклам для наведених прикладів. Аналіз значень параметрів рівняння, при переході через які рух системи переходить у граничний цикл, розрахунок приблизних числових значень цих параметрів. Можливі типи граничних циклів: стійкий граничний цикл, нестійкий граничний цикл, напівстійкі граничні цикли. Графічне представлення кожного типу граничних циклів. Задання структури фазового простору структурними елементами в області руху.</p>
7.	<p>Тема 1.7 Топологічні характеристики фазового простору.. Поняття топологічної еквівалентності фазових траєкторій. Теорема про топологічну еквівалентність нелінійної системи своїй лінеаризованій системі в околі її особливої точки (без доведення). Поняття індексу Пуанкаре як характеристики обмежень на можливе співіснування структурних елементів різних типів на фазовій площині. Сумарний індекс Пуанкаре контуру, що охоплює декілька особливих точок. Властивості індексів Пуанкаре.</p>

№	Назва теми лекції та перелік основних питань
8.	Тема 1.8 Стійкість: теорія стійкості, типи стійкості.. Структурна стійкість (грубість) динамічних систем як властивість системи слабо змінювати свою поведінку чи стан при невеликій зміні початкових умов. Топологічно орбітально-еквівалентні системи. Поняття стійкості за Ляпуновим, асимптотичної та експоненціальної стійкості. Показник Ляпунова та його властивості. Поняття орбітальної стійкості (стійкості за Пуанкаре) та експоненціально-орбітальної стійкості. Огляд поняття аттрактор та його властивостей.
9.	Тема 1.9 Біфуркація в динамічній системі та елементи теорії катастроф.. Поняття біфуркації, точки біфуркації та біфуркаційних значень. Приклади зміни характеру поведінки систем. Поняття елементарних катастроф, види катастроф в залежності від степеню рівняння, що описує динамічну систему (складка, збірка, ластівчин хвіст). Поняття градієнтної системи та паростка катастрофи. Приклади катастроф (еліптична та гіперболічна омбіліки). Теорія катастроф Рене Тома та структурна стійкість особливих точок, а також поняття універсальних розвитків та їх кількість.
10.	Тема 1.10 Теорема Ляпунова про глобальну стійкість.. Теорема Ляпунова про глобальну стійкість (без доведення), функція Ляпунова. Визначення простої особливої точки, простої лінійної системи. Приклади дослідження стійкості/нестійкості особливих точок динамічних систем за допомогою знаходження критичних точок функції Ляпунова та перевірки знаку її диференціалу.
Розділ II. Хаос і фрактали.	
11.	Тема 2.1 Відображення.. Відображення. Джерела моделі-відображення. Поняття перетину Пуанкаре та відображення послідування. Визначення відрізка без контакту, поверхні без контакту, січної площини (перетин Пуанкаре). Точкове відображення та його властивості, одномірне точкове відображення. Поняття сходів Ламерея як графічного способу представлення точкового відображення. Теорема про критичну стійкість/нестійкість (з доведенням) та визначення понять циклічної точки, m -кратної нерухомої точки, спіралі Ламерея.
12.	Тема 2.2 Логістичне відображення. Логістичне відображення або універсальне відображення Фейгенбаума, унімодальне відображення. Множник стійкості, біфуркація зміни стійкості, каскад біфуркації подвоєння періоду (каскад біфуркації народження циклу). Положення Фейгенбаума F_1 про універсальне число Фейгенбаума δ та положення Фейгенбаума F_2 про універсальне число Фейгенбаума α . Поняття суперстабільної точки та суперстабільного циклу. Поняття динамічного (детермінованого) хаосу. Сценарій Фейгенбаума (еволюція регулярного руху, при якому зі зміною керівного параметра відбувається нескінченна послідовність подвоєнь періоду, що призводить до хаотичного руху).
13.	Тема 2.3 Показники Ляпунова і кінематика хаотичного руху.. Поняття динамічного хаосу, визначення локальної нестійкості системи і поняття горизонту непередбачуваності системи (горизонту прогнозу). Особливі області фазового простору - аттрактори та репелори. Поняття ергодичного руху та руху з перемішуванням, схематичне зображення таких типів руху на площині. Швидкість перемішування для систем, що мають властивість перемішування, в залежності від моделі, що описує систему: для моделі-потoku та моделі відображення. Поняття автокорелятора як кореляційної функції динамічних змінних, різні форми його запису та процедура, що використовується при його обрахуванні і дозволяє оцінити точність обчислення.

№	Назва теми лекції та перелік основних питань
14.	Тема 2.4 Фрактали. Поняття динамічного хаосу та самоподібності. Поняття фрактальної множини (фракталу), приклади фракталів (сніжинка Коха, килим Серпинського, множина Кантора, крива Пеано, крива Менгера, Канторові сходи), та приклади природних фракталів (довжина берегової лінії). Поняття масштабної інваріантності (скейлінгу), визначення лінії за Жорданом, Кантором та Урисоном. Постулати про топологічну розмірність, визначення фрактальної розмірності за Мандельбротом. Регулярний алгоритм знаходження фрактальної розмірності.
15.	Тема 2.5 Критерії хаосу. Ентропія КС (Колмогорова-Крилова-Синяя). Рух з перемішуванням, для якого як завгодно малі збурення на початку руху можуть привести до сильного відхилення фазової траєкторії від свого незбуреного значення. Тип нестійкого руху «локальна нестійкість»: формальне визначення локальної нестійкості та інкремента нестійкості. Показник розтягнення. Поняття К-систем як систем, що мають властивості локальної нестійкості та перемішування. «Ентропія КС» (ентропія Колмогорова-Синяя), формули для її визначення.
16.	Тема 2.6 Дивний (стохастичний) аттрактор. Поняття аттрактора, три властивості аттракторів: інваріантність відносно потоку; існування деякого околу, що стискається до аттрактора під дією потоку; неможливість розкладу аттрактора на дві інваріантних множини, що не перетинаються. Поняття простого аттрактора та їх приклади: стійка особлива точка, граничний цикл та інваріантний тор. Поняття дивного аттрактора як притягуючої множини, що є аттрактором та одночасно не є підмноговином фазового простору. Відображення Хенона як приклад дивного аттрактора. Аттрактор Лоренца як історично перший відкритий дивний аттрактор, історія його відкриття та система диференціальних рівнянь, з якої аттрактор було отримано.
17.	Тема 2.7 Сценарії переходу до хаосу. Поняття детермінованого хаосу, умови його виникнення, що здебільшого визначаються високою чутливістю системи до початкових умов. Приклади систем, для яких притаманна дана властивість: періодично стимульовані клітини серця, електронні ланцюги, явища турбулентності в рідинах та газах, хімічні реакції, лазери та ін. Три сценарії переходу до хаосу (F-сценарій, або сценарій Фейгенбаума, перехід через переміжність, біфуркація Хопфа). Біфуркація Хопфа як приклад регулярного руху, який стає сильно нестійким та переходить в хаотичний рух на дивному аттракторі. Деякі твердження про важливість динамічного хаосу для світу.
Розділ III Нелінійні динамічні системи.	
18.	Тема 3.1 Дисипативні структури. Синергетика. Самоорганізація (ідеологія). Базові приклади реальних явищ теорія самоорганізації. Поняття самоорганізації як спонтанного виникнення стійкої впорядкованої структури в нелінійних дисипативних системах, далеких від стану рівноваги, а також синергетики як розділу нелінійної динаміки, що займається вивченням самоорганізації. Поняття параметрів порядку та русла, що є ключовими для теорії самоорганізації. Три поняття ентропії – інформаційна ентропія (ентропія Шенона), метрична ентропія (ентропія Колмогорова-Крилова-Синяя), термодинамічна ентропія. Два основні класи необоротних процесів. Базові приклади систем, що мають властивість самоорганізації, та механізми їх виникнення: структури Тьюрінга, реакція Білоусова-Жаботинського, комірки Бенара та автохвилі.

Практичні заняття

№	Назва теми заняття та перелік розглянутих питань
1.	Топологічний аналіз фазового простору динамічних систем
2.	Стійкість.

№	Назва теми заняття та перелік розглядуваних питань
3.	Біфуркації у динамічних системах.
4.	Елементи теорії катастроф.
5.	Динамічна система «модель-відображення».
6.	Утворення та характеристики хаосу.
7.	Побудова фракталів та аналіз їх структури
8.	Утворення дисипативних структур
9.	Застосування до проблем екології та кібербезпеки

6. Самостійна робота студента

Самостійна робота студентів має на меті розвиток творчих здібностей та активізація їх розумової діяльності, формування потреби безперервного самостійного поповнення знань та розвиток морально-вольових зусиль. Завданням самостійної роботи студентів є навчити студентів самостійно працювати з літературою, творчо сприймати навчальний матеріал і осмислювати його та формування навичок до щоденної роботи з метою одержання та узагальнення знань, умінь і навичок.

На самостійну роботу відводяться наступні види завдань:

- обробка і осмислення інформації, отриманої безпосередньо на заняттях;
- робота з відповідними підручниками та особистим конспектом лекцій;
- виконання підготовчої роботи до практичних занять, до написання МКР (модульної контрольної роботи) та колоквиуму;
- підготовка до складання семестрового контролю.

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Відвідування занять

Відвідування занять, а також відсутність на них, не оцінюється. Однак, студентам рекомендується відвідувати заняття, оскільки на них викладається теоретичний матеріал та розвиваються навички, необхідні для успішного складання семестрового контролю.

Календарний рубіжний контроль

Календарний контроль проводиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу. Календарний контроль базується на поточній рейтинговій оцінці. Умовою позитивної атестації є значення поточного рейтингу студента не менше 50% від максимально можливого на час атестації. Бал, необхідний для отримання позитивного календарного контролю доноситься до студентів викладачем не пізніше ніж за 2 тижні до початку календарного контролю.

Академічна доброчесність

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

Норми етичної поведінки

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

Процедура оскарження результатів контрольних заходів

Студенти мають можливість підняти будь-яке питання, яке стосується процедури контрольних заходів та очікувати, що воно буде розглянуто згідно із наперед визначеними процедурами (згідно «Положення про систему забезпечення якості вищої освіти у Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», «Положення про організацію навчального процесу»).

8. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (PCO)

Видами контролю успішності засвоєння матеріалу дисципліни «Основи нелінійного аналізу» є модульна контрольна робота (МКР), колоквіум, робота на практичних заняттях та семестровий контроль (залік).

Модульна контрольна робота

Робочим навчальним планом передбачено виконання студентами модульної контрольної роботи (МКР). Основною метою МКР є перевірка поточного рівня засвоєності теоретичних знань та навичок їх самостійного застосування до розв'язання практичних задач. Варіанти завдань МКР містять базові теоретичні питання та типові практичні задачі з відповідного розділу програми. МКР складається з двох частин:

1. Теорія нелінійних динамічних систем
2. Хаос. Фрактали. Дисипативні структури

Максимальна кількість балів за кожну контрольну роботу дорівнює 30 балів, за дві 60. Максимальна кількість балів за кожне завдання вказана в умові. Оцінка за завдання може варіюватись у залежності від кількості зроблених помилок у розв'язку та специфіки конкретного завдання. Списані відповіді, які студент не може пояснити, не зараховуються.

Колоквіум

Колоквіум відбувається у формі письмової роботи або за матеріалами лекцій. У разі необхідності уточнення оцінки викладач може задати усно додаткові запитання. Максимальна оцінка за колоквіум – 30 балів.

Активність на практичних заняттях

Ваговий бал для роботи біля дошки – 2. Максимальна кількість – 10 балів. Робота оцінюється згідно критеріїв:

- Отримання повної правильної відповіді без підказок (+) – 2 бала
- Отримання повної правильної відповіді з підказками (+.) – 1.5 бали
- В цілому правильний хід розв'язку, що супроводжувався суттєвими помилками (\pm) – 1 бал
- В цілому неправильний хід розв'язку що містив правильні ідеї (\mp) – 0.5 бала

- Розв'язку нема, або він повністю неправильний (–) – 0 балів.

Конструктивна ідея або відповідь із місця оцінюється в 1 бал. З огляду на обмежену кількість виходів до дошки студенти зацікавлені у активній участі в роботі на практичних заняттях.

Бонусні бали

За особливу гарну роботу на практиці або на лекції студент може додатково до базових балів отримати 5 бонусних балів.

Семестровий контроль (залік)

Підсумковий рейтинг **RD** є сумою базових (див. таб. 3) та бонусних (не більше ніж 5) рейтингових балів отриманих у семестрі. Сума максимально можливих базових балів дорівнює 100 балам:

№	Контрольний захід	Бал	Кількість	Всього
1	Модульні контрольні роботи	30	2	60
2	Колоквіум	30	1	30
3	Практичні заняття	10		10
	Всього			100

Таблиця 3. Розподіл базових семестрових балів за видами контролю

Підсумковому значенню **RD** ставиться у відповідність традиційна оцінка (див. таб.4):

Кількість балів	Оцінка
95 – 100	Відмінно
85 – 94	Дуже добре
75 – 84	Добре
65 – 74	Задовільно
60 – 64	Достатньо
0 – 59	Незадовільно

Таблиця 4. Відповідність між **RD** та традиційною оцінкою

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено: _____ доцент, к.ф.-м.н., доцент Кравцов Олег Васильович
(посада, науковий ступінь, вчене звання, ПІБ)
_____ старший викладач Наказной Павло Олександрович
(посада, науковий ступінь, вчене звання, ПІБ)

Ухвалено: кафедрою _____ математичного моделювання та аналізу даних
(повна назва кафедри)

(протокол № 14 від 22. 06. 2022 р.)

Погоджено: методичною комісією _____ навчально-наукового фізико-технічного інституту
(назва факультету/інституту)

(протокол № 6 від 30. 06. 2022 р.)