



Теорія хаосу у динамічних системах

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

● Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Перший (бакалаврський)</i>
Галузь знань	<i>12 Інформаційні технології</i>
Спеціальність	<i>124 Системний аналіз</i>
Освітня програма	<i>Системний аналіз і управління</i>
Статус дисципліни	<i>Вибіркова</i>
Форма навчання	<i>очна(денна)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>4 курс, весняний</i>
Обсяг дисципліни	<i>4 кредити ЕКТС, 120 год. (лекції - 40 год., практичні - 20 год., СРС - 60 год.)</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Залік/МКР</i>
Розклад занять	<i>Rozklad.kpi.ua</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: <i>д.ф.-м.н., професор, Лопатін Олексій Костянтинович, 050 5656755 (телефон, Viber, Telegram), lopatinalexey142@gmail.com</i> Практичні: <i>д.ф.-м.н., професор, Лопатін Олексій Костянтинович</i> Лабораторні:
Розміщення курсу	<i>(Googledisk)</i>

● Програма навчальної дисципліни

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

Завдання навчальної дисципліни «Теорія хаосу в динамічних системах» визначаються змістом і специфікою її предмета і методу і обмежуються вивченням математичних методів дослідження економічних систем процесів, явищ і систем. У більш детальному вигляді завданнями дисципліни є:

- знайомство з найважливішими поняттями теорії дискретних динамічних систем;*
- вивчення методів побудови рішень рівнянь і систем з дискретним часом;*
- знайомство з якісними і наближеними аналітичними методами дослідження динамічних систем з дискретним часом*
- вироблення практичних навичок дослідження стійкості дискретних динамічних систем;*
- вивчення аналітичних методів дослідження економічних систем*
- вивчення методології моделювання*
- вивчення математичні моделі зростання економіки з урахуванням розвитку технологій*
- вивчення математичних моделей регулювання цін на ринку*
- вивчення математичних моделей інновацій та інноваційних процесів*
- вивчення моделей еволюційної (синергетичної) та інноваційної економіки*

Метою освоєння дисципліни "Теорія хаосу в динамічних системах" є набуття знань в області теорії динамічних систем і нелінійної динаміки стосовно до економіки, що відповідає основній меті в частині отримання вищої професійно профільованої освіти, що дозволяє випускнику

успішно працювати в обраній сфері діяльності в Україні та за кордоном, володіти універсальними і предметно спеціалізованими компетенціями, які сприяють його соціальній мобільності, затребуваності на ринку праці і успішної професійної кар'єри.

Дисципліна «Теорія хаосу в динамічних системах» сприяє набуттю наступних компетенцій:

- здатність до оволодіння базовими знаннями в області математики і природних наук, їх використання у професійній діяльності (ОПК-1);
- здатність самостійно здобувати нові знання, використовуючи сучасні освітні та інформаційні технології (ОПК-2);
- здатність проведення комп'ютерних досліджень, аналізу отриманих даних і подальшого викладу і порівняння отриманих результатів;
- здатність їх використання у професійній діяльності.

В результаті освоєння дисципліни навчається повинен

ЗНАТИ:

- основи дискретної динаміки (метод фазового простору, основи теорії стійкості і типові біфуркації простих рішень нелінійних систем, основні сценарії розвитку хаосу);
- методи моделювання за допомогою систем з дискретним часом, специфіку алгоритмів досліджень основних ефектів динаміки даних систем.
- сутність економічних процесів, економічні категорії та показники, і їх взаємозв'язку;
- основи математичного аналізу, теорії ймовірностей і математичної статистики та області їх застосування в аналізі економічних процесів;
- математичні принципи побудови моделей економічних процесів;

ВМІТИ:

- проводити дослідження дискретних систем за допомогою аналітичних і обчислювальних тільних методів;
- використовувати сучасні технічні засоби і інформаційні технології для вирішення аналітичних і дослідницьких завдань.
- програмувати і проводити аналіз динаміки дискретних систем;
- аналізувати і оцінювати результати комп'ютерних розрахунків.

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

Дисципліна «Теорія хаосу в динамічних системах» відноситься до вибіркової частини професійного циклу ООП. Дисципліна ґрунтується на знанні наступних дисциплін:

«Математичний аналіз», «Аналітична геометрія», «Лінійна алгебра», «Теорія ймовірностей», «Звичайні диференціальні рівняння» «Загальна теорія статистики» «Математичне моделювання», «Економетрика», «Методи оптимальних рішень», «Методи моделювання і прогнозування економіки» « Економіка фірми », а також дисциплін « Макроекономіка », « Мікроекономіка ».

Дисципліна «Теорія хаосу в динамічних системах» передуює і забезпечує наступні навчальні дисципліни у програмі підготовки фахівця: «Теорія прийняття рішень» (ЗО 13), «Основи системного аналізу» (ЗО 12), «Моделювання складних систем»(ПО 15), «Аналіз часових

рядів» (ПО 8), «Математичне моделювання», «Методологія інструментальні засоби дослідження економічних систем». «Методи моделювання і прогнозування економіки».



3. Зміст навчальної дисципліни

Розділ 1. Розуміння нелінійної динаміки (на прикладі нелінійних різницевих рівнянь першого порядку)

Тема 1.1. Основи нелінійної динаміки нелінійних різницевих рівнянь першого порядку на прикладах

Тема 1.2. Динаміка нелінійних різницевих рівнянь першого порядку

Розділ 2. Динамічні моделі зростання економіки, що описуються нелійними різницевиими рівняннями першого порядку

Тема 2.1. Виробничі функції (ВФ)

Тема 2.2. Неокласична дискретна модель Солоу Кобба_Дугласа: фактори зростання праці і капіталу та технологічного прогресу

Тема 2.3. Проблеми розвинених країн та країн, що розвиваються

Тема 2.4. S-подібні виробничі функції (S-curve production function) як криві технологічного прогресу

Тема 2.5. Модель економічного зростання типу Солоу з виробничною функцією у вигляді S-функції

Розділ 3. Математичні моделі регулювання цін на ринках в економіці

Тема 3.1. Теорема існування конкурентної рівноваги

Тема 3.2. Існування конкурентної рівноваги на практиці

Тема 3.3. Еволюційної (синергетична) економіка. Руйнівна і творча роль хаосу

4. Навчальні матеріали та ресурси

Обов'язкова*

1. Elaydi Saber N., *Discrete chaos with applications in science and engineering*, second edition, Taylor & Francis Group, Boca Raton, London, New York, 2007.
2. Galor Oded., *Discrete dynamical systems*, Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 2007.
3. Hommes Cars, *Behavioral Rationality and Heterogeneous Expectations in Complex Economic Systems* Cambridge University Press, New York, 2013.

*Вся література є в наявності та виставляється в Google Disc.

Додаткова

4. Індустрія 4.0. . <https://www.it.ua/knowledge-base/technology-innovation/industry-4>
5. Nizhegorodtsev R.M., "Logistic modeling of economic dynamics [in rus.], part 1", *Problemy upravleniya*, no. 1, pp. 46–53, 2004.
6. Chiang Alpha, Wainwright Kevin, *Fundamental methods of Mathematical Economics*, McGraw Hill; 4th edition, 2005.
7. Diks Cees, Hommes Cars, Panchenko Valentyn and Tyszler Marcelo, *E&F Chaos: A User Friendly Software Package for Nonlinear Economic Dynamics*, *Comput Econ* (2008) 32:221–244. DOI 10.1007/s10614-008-9130-x
8. Diks Cees, Hommes Cars, Panchenko Valentyn and Tyszler Marcelo, *Manual E&F Chaos Program*, CeNDEF, University of Amsterdam, 2008.
9. Elaydi Saber N., *An Introduction to Difference Equations*, Springer, New York, 2005
10. Kucharavy Dmitry, Roland De Guio, *Application of S-shaped curves*, *TRIZ Future Conference 2007*, *Procedia Engineering* 9 (2011) 559–572.

11. Thiemer Andreas, *Cobweb models and Expectations*, FH-Kiel, University of Applied Sciences, https://www.fhkiel.de/fileadmin/data/wirtschaft/Dozenten/Thiemer__Andreas/MCD/cobweb_e.pdf
12. David F. Heathfield and Soren Wibe, *An introduction to cost and production functions. I. Production functions (Economic theory)*. Published by MACMILLAN EDUCAnON LTD Houndmills, Basingstoke, Hampshire RG21 2XS and London Companies and representatives throughout the world British Library Cataloguing in Publication Data Heathfield, ISBN 978-0-333-41607-5 ISBN 978-1-349-18721-8 (eBook) DOI 10.1007/978-1-349-349-18721-
13. Alexey Lopatin, *A Modified Version of Solow's Economic Growth Model with Successive Using Composite S-Curves for Technological Progress Implementation*, 2020 IEEE 2nd International Conference on System Analysis Intelligent Computing (SAIC), 5-9 Oct. 2020, Kyiv, Ukraine, pp. 60-63, IEEE, DOI: 10.1109/SAIC51296.2020.9239116
14. Minitab: *Curve Fitting with Linear and Nonlinear Regression*, <https://blog.minitab.com/en/adventures-in-statistics-2/curve-fitting-with-linear-and-nonlinear-regression>

● Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Лекція 1. *Одномірне автономне лінійне диференціальне рівняння першого порядку. Вид рівняння, змінна стану в часі, параметри. Характеристика рішення: початкове значення, ітераційний метод, траєкторія, асимптотична поведінка системи при наближенні часу до нескінченності, стан (положення) рівноваги. Існування і єдиність станів рівноваги. Глобальна та локальна стійкість станів рівноваги. Якісно-графічний підхід: метод фазової діаграми. Параметрична класифікація станів рівноваги і їх траєкторій.*

[4]Galor, стор. 2-15.

СРС. Система лінійних різниць другого порядку з постійними коефіцієнтами.

Приклади двовимірних систем. Явне рішення і аналіз стійкості. Аналіз стійкості без явного рішення.

[4]Galor, стор. 33-50.

Лекція 2. *Застосування: Павутино подібної лінійної моделі попиту-пропозиції на ринку з очікуваннями.*

Процес регулювання цін в економіці. Хто і з якою метою регулює ціни?

Статична модель ринку. Загальна динамічна модель з цінними очікуваннями. Випадок I:

Статичні («Наївні») очікування. Випадок II: Очікування нормальної ціни.

Випадок III: Адаптивні очікування. Порівняння умов стійкості зазначених трьох випадків.

[18]Thiemer, стор. 1-11.

СРС. Лінійні різниці другого порядку з постійними коефіцієнтами і постійними членами. Частковий розв'язок. Фундаментальне рішення. Збіжність за часом.

[13] Chang, стор. 569-574.

Лекція 3. *Одномірне нелінійне різницеве рівняння першого порядку.*

Права частина - неперервно диференційована зростаюча функція. Початкове значення змінної стану. Метод ітерацій побудови рішення (траєкторії). Може існувати кілька точок рівноваги (станів). Якісно-графічний підхід: метод фазових діаграм класифікації траєкторій. Лінеаризація і локальна стійкість станів рівноваги. Глобальна стійкість (властивість стискає відображення).

[4]Galor, 16-26]

СРС. Стійкість траєкторії автономного нелінійного різницевого рівняння за першим наближенням з не гіперболічними положеннями рівноваги

[3]Elaydi, стор. 28-35.

Лекція 4. Логістичне рівняння і біфуркація

Відображення через різницеві рівняння. Шлях подвоєння періоду до хаосу: фіксовані точки, 2-періодичні цикли, 2²-періодичні цикли, за межами 2N. Геометрична інтерпретація: біфуркаційних діаграм, старшого показника Ляпунова для нелінійних відображень [3]Elaydi, стор. 61-98.

СРС. Алгоритм побудови старшого показника Ляпунова для нелінійних відображень. [3]Elaydi 5, стор. 207-214.

Лекція 5. Тяжіння і біфуркація.

Введення, басейн тяжіння нерухомих точок, басейн тяжіння періодичних орбіт, теорема Зінгера, біфуркація, теорема Шарковського, теорема Лі-Йорка.

[3]Elaydi, стор. 61-98.

СРС. Відображення Лоренца.

[3]Elaydi, стор. 105-107.

Лекція 6. Хаос в одновимірному нелінійному відображенні

Щільність безлічі періодичних точок. Транзитивність. Чутлива залежність рішення від початкових умов і старшого показника Ляпунова. Визначення хаосу. Прогнозування рішень відображення в околиці аттракторів.

[3]Elaydi, стор. 207-214.

СРС. Чисельне прогнозування траєкторії рівняння в околиці хаотичного аттрактора.

Виведення основних співвідношень. Чисельна оцінка горизонту прогнозування Ляпунова.

[3]Elaydi, стор. 119-143.

СРС. Фрактальні властивості дивного аттрактора.

[3]Elaydi, стор. 143-1.47.

Лекція 7. Аналіз властивостей виробничих функцій (ВФ), що використовуються в задачах економічного зростання

Багатомірні та двомірні ВФ. Неокласичні виробничі функції. Найважливіші характеристики ВФ: ступінь однорідності, віддача від масштабу, еластичність заміщення між факторами, поведінка частки винагород за працю загальному обсязі номінального випуску, умови регулярності. Функціональні форми: Кобба-Дугласа, функція із постійною еластичністю заміни між факторами (CES). Виробничі функції у темповому записі.

[18] David F. Heathfield, chapter 3.

Лекція 8. Дискретна модель Солоу екзогенного економічного зростання на базі виробничої функції Коба_Дугласа (без урахуванням технологічного прогресу).

Структура економіки в базовій моделі Солоу. Модель Солоу в дискретному часі.

Перехідна динаміка в моделі Солоу в дискретному часі.

[1]Асемоглу, стор. 35-65.

Лекція 9. Дискретна модель Солоу екзогенного економічного зростання на базі виробничої функції Коба_Дугласа (з урахуванням технологічного прогресу).

Модель Солоу в дискретному часі. Перехідна динаміка в моделі Солоу в дискретному часі. Перший погляд на стійке економічне зростання. Модель Солоу з технологічним прогресом. Порівняльна динаміка.

[1], стор. 66-95.

Лекція 10. Облік зростання

Фактор накопичення — вимірний. Збільшення загальної продуктивності факторів виробництва — не напряму вимірюваний. Зростання розкладається на зростання вхідних ресурсів та через покращень технології. Облік зростання на практиці. Рівняння обліку зростання. Спостережувані змінні та неспостережувані — залишки Солоу. Приклади — різні країни.

[1] Асемоглу, стор. 66-95.

Лекція 11. Економічне зростання і економічний розвиток: економічний ріст і відмінності в рівнях доходів. Джерела поточного відмінності в рівнях доходів і світового

економічного зростання.

[1] Асемоглу, стор. 10-17.

Лекція 12. Чому S-подібні виробничі функції, ймовірно, найважливіша концепція в підприємстві? Походження логістичної кривої і її основна концепція. Застосування S-подібних кривих. Побудова S-подібної кривої. Деякі результати з практики.

[17] Kucharyu.

Лекція 13. Порівняльний аналіз виробничої функції Кобба-Дугласа та S-подібної виробничої функції

Виробничі функції Кобба-Дугласа відповідає всім аксіомам неокласичної форми. S-подібна виробнича функція однорідна, віддача від масштабу дорівнює 1, еластичність заміщення між факторами не є постійною. Переваги S-подібної виробничої функції з точки зору якісної та кількісної поведінки.

[20] Alexey Lopatin.

Лекція 14. Алгоритми ідентифікації виробничих функцій Кобба-Дугласа та S-подібної виробничої функції за статистичними даними

Алгоритми ідентифікації довільних функцій Кобба-Дугласа за статистичними даними може використовувати метод найменших квадратів. В S-подібній виробничій функції параметри входять нелінійно, тому алгоритм ідентифікації S-подібних виробничих функцій ґрунтуються на основі нелінійного методу найменших квадратів (the nonlinear least squares - NLS), але цей метод потребує знання надійного першого наближення.

[21]

Лекція 15. Узагальнення неокласичної моделі економічного зростання Солоу за рахунок вибору виробничої функції у вигляді S-функції.

Логістичне моделювання економічної динаміки. Внесок інформаційного виробництва в економічне зростання. Модель економічного зростання типу Солоу з виробничою функцією у вигляді S-функції. Дослідження положень рівноваги узагальненого рівняння Солоу в залежності від параметрів моделі методами нелінійної динаміки. Алгоритм рішення задачі

[10] Nizhegorodtsev R.M., стор. 46-50.

Лекція 16. Лінійна і нелінійна модель Вальраса ціноутворення на ринку. Загальна і часткові поняття рівноваги. Паутино подібна лінійна модель Вальраса регулювання цін. Формалізація ринкового попиту і ринкової пропозиції. Опис нелінійної моделі Вальраса регулювання цін. Визначення конкурентного рівноваги по Вальрасу. Теорема існування конкурентної рівноваги. Рекурентна модель регулювання цін.

[2] Данилов, стор. 227-231.

СРС. Опис нелінійної моделі Ерроу-Дебре регулювання цін. Умова існування конкурентної рівноваги.

[2] Данилов, стор. 227-231.

Лекція 17. Аттрактори нелінійної моделі ціноутворення з запасами одного товару з пропозицією у вигляді S-кривої Ферхольста

Модель Верхольста з нелінійною функцією пропозиції. Випадок пропозицією у вигляді S-кривої Ферхольста з 6 параметрами. Підбір параметрів з метою отримання різних стійких траєкторій вихідного різницевого рівняння: загасаюча траєкторія, 2 періодичний цикл, 2²- періодичний цикл, ..., 2^N- періодичний цикл, хаос. Біфуркаційні діаграми і діаграми старших показників Ляпунова.

[14] Hommes.

СРС. Перехід від моделі Верхольста з нелінійною функцією пропозиції у вигляді S-кривої Ферхольста до моделі з адаптивним очікуванням.

СРС. [14] Hommes.

Лекція 18. Елементи еволюційної (синергетичної) економіки. Основні поняття синергетики. Самоорганізація в системах. нелінійні

дисипативні системи. Нерівноважність. Стаціонарний стан системи. Явище самоорганізації. Атрактори як цілі еволюції. Багатоваріантність шляхів еволюції. Перехід між атракторами через динамічний хаос.

[12] Чернишова.

СРС. Відкрита система. Нерівноважний стан. Керуючі параметри, параметри порядку і принцип підпорядкування. Флуктуації та їх роль в самоорганізації. Зворотні зв'язку та їх роль в самоорганізації.

[11] Нікітенко, стр. 57-70.

Практичні заняття

Практика 1. Перехід від систем з неперервним часом до дискретних відображень.

Лінійне дискретне рівняння першого порядку. Інтегрування лінійного відображення.

Типи поведінки в залежності від значення керуючого параметра.

Нелінійне одновимірне відображення. Сходи Ламерея. Стійкість нерухомих точок за першим наближенням.

Практика 2. Глобальна та локальна стійкість станів рівноваги. Якісно-графічний

підхід: метод фазової діаграми. Параметрична класифікація станів рівноваги і їх траєкторій.

Якісно-графічний підхід: метод фазових діаграм класифікації траєкторій. Лінеаризація і локальна стійкість станів рівноваги. Глобальна стійкість (властивість стискаючого відображення).

Практика 3. Логістичне рівняння і біфуркація. Відображення через різницеві рівняння.

Геометрична інтерпретація: біфуркаційна діаграма, старший показник Ляпунова для нелінійних відображень.

Басейн тяжіння нерухомих точок, басейн тяжіння періодичних орбіт, теорема Зінгера, біфуркація, теорема Шарковського, теорема Лі-Йорка.

Практика 4. Чутлива залежність рішення від початкових умов і старший показник

Ляпунова. Визначення хаосу.

Структура економіки в базовій моделі Солоу. Модель Солоу в дискретному часі. Перехідна динаміка в моделі Солоу в дискретному часі.

Практика 5. Модель Солоу з технологічним прогресом. Порівняльна динаміка. Перший погляд на стійке економічне зростання

Застосування S-подібних кривих. Екстраполяція S-подібної кривої обвідною. Деякі результати з практики.

Практика 6. Побудова логістичної S- кривої в графічному редакторі Desmos. Знайомство з найбільш поширеними S- кривими.

Модель економічного зростання Солоу з виробничною функцією у вигляді S-функції.

Практика 7. Математичні характеристики виробничої функції у вигляді S-функції.

Дослідження положень рівноваги узагальненого рівняння Солоу з виробничою функцією у вигляді S-функції в залежності від параметрів моделі.

Практика 8. Побудова біфуркаційної діаграми та старшого показника Ляпунова. Майже періодичні режими.

Павутино подібна лінійна модель Вальраса регулювання цін. Формалізація ринкового попиту і ринкової пропозиції. Рекурентна модель регулювання цін.

Практика 9. Модель Вервольста з нелінійною функцією у вигляді S-кривої Фервольста з 6 параметрами.

Явище самоорганізації. Атрактори як цілі еволюції. Багатоваріантність шляхів еволюції. Перехід між атракторами через динамічний хаос.

6. Самостійна робота студента/аспіранта

Учбові години на самостійну роботу студентів розподіляється в рівних пропорціях наступним чином.

- 1) Завдання на СРС в лекціях: теоретична компонента;
- 2) Виконання трьох розрахункових робіт ККР (Комплексна контрольна робота): практична компонента
ККР_1 за матеріалом 1 розділу,
ККР_2 за матеріалом 2 розділу,
ККР_3 за матеріалом 3 розділу.

Розрахункова робота по суті є дослідницькою і дає можливість студентам глибше засвоїти матеріал і розвинути логічне та алгоритмічне мислення.

Кожна ККР виконується за варіантами. Термін здачі-закінчення розділу, які уточнюється викладачем.

ККР оформляється студентом у вигляді звіту, який відправляється викладачу через електронну пошту.

● Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Зазначається система вимог, які викладач ставить перед студентом/аспірантом:

- правила відвідування занять (як лекцій, так і практичних/лабораторних);
- правила поведінки на заняттях (активність, підготовка коротких доповідей чи текстів, відключення телефонів, використання засобів зв'язку для пошуку інформації на гугл-диску викладача чи в інтернеті тощо);
- правила захисту лабораторних робіт;
- правила захисту індивідуальних завдань;
- правила призначення заохочувальних та штрафних балів;
- політика дедлайнів та перескладань;
- політика щодо академічної доброчесності;

інші вимоги, що не суперечать законодавству України та нормативним документам Університету. Здобувачі вищої освіти не мають право пропускати лекційні та практичні заняття без поважних причин. На кожному практичному занятті здобувачі повинні активно залучатися до аналізу, обговорення та розв'язування поставлених задач. Для цього викладач на кожній лекції повинен приділяти увагу до застосування викладених теоретичних основ прочитаних тем в різних галузях прикладної науки. Захист індивідуального завдання повинен виявити наскільки здобувач може не тільки абстрактно та логічно мислити, а й аналізувати результати виконаного практично спрямованого дослідження. Усі роботи здобувачі мають прикріплювати в особистому кабінеті гугл-класу. Роботи мають бути виконані з дотриманням академічної доброчесності.

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

Поточний контроль:

Календарний контроль: проводиться тричі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силябусу у вигляді виконання трьох розрахункових робіт (Комплексна Контрольна Робота) ККР_1, ККР_2, ККР_3.

ККР оформляється студентом у вигляді звіту, який відправляється викладачу через електронну пошту. Викладач виставляє оцінку до 100 балів по кожній роботі у поточну відомість, що висилається студентам кожного тижня.

Рейтингова оцінка наприкінці семестру виставляється як середня арифметична оцінка по всіх ККР.

Методичні вказівки до виконання ККР є додатком до робочої програми та знаходяться у електронній системі Google Disc викладача.

Семестровий контроль: залік

Умови допуску до семестрового контролю: підсумкова оцінка має бути не менше 40 балів

Студенти, які виконали всі умови допуску до заліку та мають рейтингову оцінку 60 і більше балів, отримують відповідну до набраного рейтингу оцінку без додаткових випробувань («автоматом»).

Студенти, які наприкінці семестру мають рейтинг менше 60 балів, але виконали умови допуску до заліку, а також ті, хто хоче підвищити оцінку, виконують залікову контрольну роботу. При цьому попередній рейтинг з дисципліни скасовується і до залікової відомості заносяться бали за залікову контрольну роботу («жорстка» РСО). Ця оцінка є остаточною.

Залік оцінюється у 100 балів. Завдання залікової контрольної роботи складається з двох теоретичних питань різних розділів робочої програми. Кожне теоретичне питання залікової контрольної роботи оцінюється у 50 балів:

Критерії оцінювання:

«відмінно», повна відповідь (не менше 95% потрібної інформації) – 47-50 балів;

«добре», достатньо повна відповідь (не менше 75% потрібної інформації) – 37-46 балів;

«задовільно», неповна відповідь (не менше 60% потрібної інформації) – 30-36 балів;

«незадовільно», незадовільна відповідь – 0 балів.

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:

Кількість балів	Оцінка
100-95	Відмінно
94-85	Дуже добре
84-75	Добре
74-65	Задовільно
64-60	Достатньо
Менше 60	Незадовільно
Не виконані умови допуску	Не допущено

9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

Теоретичні питання на заліку

- Одномірне автономне лінійне диференціальне рівняння першого порядку
- Якісно-графічний підхід: метод фазової діаграми
- Процес регулювання цін в економіці. Хто і з якою метою регулює ціни?
Одномірне нелінійне різницеве рівняння першого порядку
- Якісно-графічний підхід: метод фазових діаграм класифікації траєкторій
- Геометрична інтерпретація: біфуркаційних діаграм, старшого показника Ляпунова для нелінійних відображень
- Басейн тяжіння нерухомих точок
- Умови хаосу в одновимірному нелінійному відображенні

- *Неокласичні виробничі функції. Найважливіші характеристики*
- *Екзогенного економічного зростання*
- *Ендогенне економічного зростання*
- *Модель Солоу з технологічним прогресом*
- *Джерела поточної відмінності в рівнях доходів і світового економічного зростання*
- *Чому S-подібні виробничі функції, ймовірно, найважливіша концепція в підприємстві?*
- *Алгоритми ідентифікації S-подібної виробничої функції за статистичними даними*
- *Логістичне моделювання економічної динаміки*
- *Основний фактор економічного зростання*
 - 1) *капітал*
 - 2) *праця*
 - 3) *науково технічний прогрес*
- *Модель економічного зростання типу Солоу з виробничою функцією у вигляді S-функції*
- *Опис нелінійної моделі Вальраса регулювання цін*
- *Модель Верхольста з нелінійною функцією пропозиції*
- *Явище самоорганізації в нелінійних дисипативних системах*
- *Атрактори в нелінійних дисипативних системах як цілі еволюції*

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено: професор, д.ф.-м. н, професор, Лопатін Олексій Костянтинович

Ухвалено кафедрою ММСА (протокол № 13 від 05.06.2024)

Погоджено Методичною комісією НН ІПСА (протокол № 10 від 24.06.2024)