

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

**ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ імені ІВАНА ФРАНКА**

---

Кафедра економічної кібернетики

**“ЗАТВЕРДЖУЮ”**

Завідувач кафедри економічної кібернетики  
доц. к.е.н. Артим-Дрогомирецька З.Б.

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2022 року

**РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ  
МОДЕЛЮВАННЯ СИНЕРГЕТИЧНИХ ПРОЦЕСІВ  
ПП2.1.2.08**

<b>Освітній рівень</b>	другий (магістерський)
<b>галузі знань</b>	05 “Соціальні та поведінкові науки”
<b>спеціальності</b>	051 “Економіка”
<b>освітня програма</b>	“Економічна кібернетика”
<b>факультету</b>	економічного

2022 – 2023 навчальний рік

Робоча програма навчальної дисципліни «Моделювання синергетичних процесів» для студентів спеціальності 051 «Економіка», освітня програма «Економічна кібернетика».

Розробник:

Зомчак Л.М. – к.е.н., доцент кафедри економічної кібернетики

Робоча програма затверджена на засіданні кафедри економічної кібернетики

Протокол від. “ ” 2022 року №

©Львів, 2022 рік

### 1. Опис навчальної дисципліни

Найменування показників	Галузь знань, напрям підготовки, освітньо-кваліфікаційний рівень	Характеристика навчальної дисципліни	
		денна форма навчання	заочна форма навчання
Кількість кредитів – 3	Галузь знань 05 “Соціальні та поведінкові науки” Освітня програма 051 “Економіка”	за вибором студента	
Модулів – 1	Спеціальність 051 “Економіка”, освітня програма «Економічна кібернетика»	<i>Рік підготовки:</i>	
Змістових модулів – 2		1-й	1-й
Курсова робота -0		<i>Семестр</i>	
Загальна кількість годин - 90		2-й	2-й
Тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних – 2 самостійної роботи студента – 3,6	Освітньо-кваліфікаційний рівень: магістр	<i>Лекції</i>	
		16 год.	8
		<i>Практичні, семінарські</i>	
		16 год.	6
		<i>Лабораторні</i>	
		-	-
		<i>Самостійна робота</i>	
		58 год.	76
ІНДЗ:			
Вид контролю: залік			

#### Примітка.

Співвідношення кількості годин аудиторних занять до самостійної і індивідуальної роботи становить:

для денної форми навчання – 0,57;

для заочної форми навчання – 0,18.

## 2. Мета та завдання навчальної дисципліни

Мета курсу формування системи теоретичних знань та практичних навичок щодо моделювання структурних і динамічних властивостей синергетичних процесів та нелінійних економічних систем як засобу дослідження та управління складними явищами у макро-, мезо- й мікроекономічних системах.

Завдання – навчити студентів застосовувати методи математичного моделювання синергетичної економіки для вирішення прикладних економічних проблем, ознайомити з головними нелінійними підходами до моделювання економіки.

### **Загальні компетентності (ЗК):**

ЗК 8. Здатність проводити дослідження на відповідному рівні.

### **Спеціальні (фахові, предметні) компетентності (СК):**

СК 1. Здатність застосовувати науковий, аналітичний, методичний інструментарій для обґрунтування стратегії розвитку економічних суб'єктів та пов'язаних з цим управлінських рішень.

### **Спеціальні (фахові, предметні) компетентності спеціалізації (СКС):**

СКС 2. Здатність аналізувати соціально-економічні та еколого-економічні системи і процеси на засадах класичних методів моделювання, а також синергетики, нелінійної економіки, системної та хаотичної динаміки.

### **Програмні результати навчання (ПРН):**

ПРН 1. Формулювати, аналізувати та синтезувати рішення науково-практичних проблем.

ПРН 7. Обирати ефективні методи управління економічною діяльністю, обґрунтовувати пропонувані рішення на основі релевантних даних та наукових і прикладних досліджень.

ПРН 8. Збирати, обробляти та аналізувати статистичні дані, науково-аналітичні матеріали, необхідні для вирішення комплексних економічних завдань.

ПРН 9. Приймати ефективні рішення за невизначених умов і вимог, що потребують застосування нових підходів, методів та інструментарію соціально-економічних досліджень

ПРН 16. Здійснювати передпроектний аналіз і моделювання економічних об'єктів різної складності на мікро-, мезо- та макрорівні з позиції сучасних економічних концепцій, забезпечувати інформаційно-аналітичну підтримку бізнес-процесів та інноваційної діяльності

ПРН 17. Аналізувати соціально-економічні та еколого-економічні об'єкти і процеси на засадах класичних та сучасних методів моделювання, розробляти управлінські рішення з альтернативними варіантами за допомогою інформаційних технологій

Основними завданнями дисципліни є:

- засвоєння студентами теоретичних основ побудови економіко-математичних моделей та методів проведення модельних експериментів;
- формування у студентів достатнього уявлення про становлення, функціонування та розвиток систем підтримки прийняття управлінських рішень;
- набуття необхідних знань і вмінь у галузі побудови систем моделей та алгоритмів пошуку оптимальних управлінських рішень;
- набуття практичних навичок використання й адаптації сучасного інструментарію оптимізації управлінських рішень у визначеній предметній сфері.

У результаті вивчення курсу студенти повинні **знати** структурні та динамічні характеристики економічної системи; моделі прогнозування характеристик економічної системи; основні методи оцінки якості функціонування; методи оцінки структурних змін; методи дослідження та моделювання складних соціально-економічних систем;

У результаті вивчення курсу студенти **вмітимуть**:

- Збирати, систематизувати й аналізувати інформацію про систему управління економічною системою

- Аналізувати соціально-економічні об'єкти і процеси на засадах синергетики і суміжних теорій
- Ідентифікувати та дослідити умови виникнення надзвичайних ситуацій, будувати моделі їхнього розвитку, оцінювати їхні соціально-економічні наслідки
- Досліджувати стійкість системи згідно теорії її самоорганізації, а також виявляти сценарії переходу до хаосу
- Розробляти математичні моделі динаміки розвитку економічних процесів
- Моделювати тенденції макро- та мікроекономічного розвитку
- Застосовувати або модифікувати існуючі програмні засоби для розв'язування задачі
- Алгоритмізувати процес пошуку ефективного рішення
- Розробляти економіко-математичні моделі прогнозування розвитку економічних систем, перевіряти їх адекватність
- Будувати прогноз динаміки розвитку економічних процесів
- Збирати, систематизувати й аналізувати інформацію у вигляді часових рядів, проводити їх аналіз методами синергетичної економіки, реалізовувати реконструкцію атратора економічних систем
- Виявляти фрактальні властивості та нелінійну динаміку в економічних системах, застосовувати методи моделювання хаотичної динаміки в економіці
- Моделювати поведінку фінансових посередників на ринку
- Здійснювати вибір певного середовища програмування для розв'язування побудованої задачі

**Дисципліна зв'язана з курсами:** макроекономіка, мікроекономіка, вища математика, теорія ймовірностей та математична статистика, дослідження операцій, економетрія, моделювання економіки, системний аналіз.

### **3. Програма навчальної дисципліни**

#### **Змістовий модуль 1. Синергетика як сучасний етап розвитку економічної науки**

##### **Тема 1. Концептуальні засади синергетики та нелінійної економіки**

Синергетика в контексті посткласичного етапу розвитку науки. Поняття «синергетика». Категорії синергетики. Зв'язок синергетики та кібернетики. Міждисциплінарний характер синергетики. Історичні етапи розвитку синергетичного підходу в науці. Німецька школа синергетики Германа Хакена. Бельгійська школа синергетики Іллі Пригожина, модель феномена самоорганізації (брюсселятор). Московська школа синергетики. Американська школа Інституту досліджень складних адаптивних систем у Санта-Фе. Особливості кожної зі шкіл. Перспективи подальшого розвитку синергетики.

##### **Тема 2. Нелінійні науки**

Фрактальна математика. Теорія хаосу. Теорія природних структурних утворень. Солітони. Клітинні автомати. Теорія складних систем.

##### **Тема 3. Економіка як об'єкт моделювання нелінійних наук та теорії хаосу**

Особливості економіки як об'єкту моделювання теорії синергетики. Доцільність застосування синергетичних методів в економіці. Еволюційний та революційний розвиток системи. Етапи деградації та руйнування системи. Поняття стійкості системи в теорії її самоорганізації. Моделювання адаптації фірми на основі класичного логістичного відображення. Павутиноподібна модель фірми як логістичне відображення.

#### **Тема 4. Основні поняття теорії синергетики**

Поняття відкритих та дисипативних структур. Поняття хаосу та динамічного в синергетиці. Основні типи атракторів, дивні атрактори. Точки біфуркації.

#### **Змістовий модуль 2. Моделювання економічних процесів методами синергетичної економіки**

#### **Тема 5. Теоретичні методи синергетики. Лінійний аналіз стійкості динамічних систем.**

Основні поняття якісної теорії диференціальних рівнянь. Фазовий простір. Лінійна система для двох змінних. Власні значення. Динаміка та рівновага. Стійкість за Ляпуновим. Консервативні та дисипативні системи. Лінеаризація нелінійної системи. Прямий метод Ляпунова.

Параметри порядку й принцип підпорядкованості в синергетиці. Принцип порядку Хакена. Показники Ляпунова. Дискретне відображення та його побудова. Сценарій переходу до хаосу по Фейгенбауму.

#### **Тема 6. Структурна стійкість і біфуркація динамічних систем**

Стійкість за Ляпуновим. Консервативні та дисипативні системи. Лінеаризація нелінійної системи. Прямий метод Ляпунова. Структурна стійкість. Поняття біфуркації. Біфуркації станів рівноваги: біфуркація зриву рівноваги, біфуркація Андронова-Хопфа (народження циклу), біфуркація типу вилки. Біфуркація періодичних розв'язків: біфуркація виникнення або зникнення пари траєкторій, біфуркація подвоєння періода, біфуркація народження тору.

#### **Тема 7. Практичні методи теорії хаосу. Алгоритм реконструкції атрактора системи.**

Особливості економічних часових рядів. Нелінійність та нестационарність економічних часових рядів. Стохастичні характеристики атракторів: фрактальна розмірність, інформаційна розмірність, кореляційна розмірність. Алгоритм Грасберга-Прокаччі реконструкції атракторів. Методи вибору часової затримки (методи автокореляційної функції та взаємної інформації). Методи вибору розмірності простору вкладення (метод кореляційної розмірності та метод фальшивих найближчих сусідів).

#### **Тема 8. Класичні та додаткові алгоритми оброблення економічних часових рядів**

Спеціальні методи дослідження нелінійної динаміки часових рядів. Алгоритм Бенеттіна, алгоритм Вульфа обчислення максимального показника Ляпунова. Методи обчислення показника Херста. Класифікація часових рядів на основі показника Херста. R/S аналіз економічних часових рядів. BDS-тест, метод сурогатних даних. Метод рекурентних графіків аналізу економічних часових рядів.

#### 4. Структура навчальної дисципліни

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин											
	денна форма						заочна форма					
	усього	у тому числі					усього	у тому числі				
		го	л	п	лаб.	інд.		с. р.	л	п	лаб.	інд.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
<b>Модуль 1</b>												
<b>Змістовий модуль 1. Моделювання економічних процесів методами теорії хаосу</b>												
Тема 1. Концептуальні засади синергетики та нелінійної економіки	11	2	2			7	11	1	1			9
Тема 2. Нелінійні науки	11	2	2			7	12	1	1			10
Тема 3. Економіка як об'єкт моделювання нелінійних наук та теорії хаосу	11	2	2			7	10	1				9
Тема 4. Основні поняття теорії синергетики	12	2	2			8	12	1	1			10
Разом за змістовим модулем 1	45	8	8			29	45	4	3			38
<b>Змістовий модуль 2. Моделювання економічних процесів методами синергетичної економіки</b>												
Тема 5. Теоретичні методи синергетики. Лінійний аналіз стійкості динамічних систем	11	2	2			7	11	1	1			9
Тема 6. Структурна стійкість і біфуркація динамічних систем	11	2	2			7	11	1				10
Тема 7. Практичні методи теорії хаосу. Алгоритм реконструкції атрактора системи.	11	2	2			7	11	1	1			9
Тема 8. Класичні та додаткові алгоритми оброблення економічних часових рядів	12	2	2			8	12	1	1			10
Разом за змістовим модулем 2	45	8	8			29	45	4	3			38
<b>Усього годин</b>	<b>90</b>	<b>16</b>	<b>16</b>			<b>58</b>	<b>90</b>	<b>8</b>	<b>6</b>			<b>76</b>

### 5. Теми практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Тема 1. Концептуальні засади синергетики та нелінійної економіки	2
2	Тема 2 Нелінійні науки	2
3	Тема 3. Економіка як об'єкт моделювання нелінійних наук та теорії хаосу	2
4	Тема 4. Основні поняття теорії синергетики	2
5	Тема 5. Теоретичні методи синергетики. Лінійний аналіз стійкості динамічних систем	2
6	Тема 6. Структурна стійкість і біфуркація динамічних систем	2
7	Тема 7. Практичні методи теорії хаосу. Алгоритм реконструкції атратора системи.	2
8	Тема 8. Класичні та додаткові алгоритми оброблення економічних часових рядів	2
	Усього годин	16

### 8. Самостійна робота

Самостійна робота студента полягає в:

- опрацюванні лекційного матеріалу;
- самостійному вивченні матеріалу із літературних джерел;
- підготовці до практичних занять;

Завдання та порядок виконання самостійної роботи містяться у «Методичних вказівках щодо організації та виконання самостійної роботи», які є окремим виданням.

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
	<b>Змістовий модуль 1. Моделювання економічних процесів методами теорії хаосу</b>	
1	Тема 1. Концептуальні засади синергетики та нелінійної економіки	11
2	Тема 2 Нелінійні науки	11
3	Тема 3. Економіка як об'єкт моделювання нелінійних наук та теорії хаосу	11
4	Тема 4. Основні поняття теорії синергетики	11
5	Тема 5. Теоретичні методи синергетики. Лінійний аналіз стійкості динамічних систем	
6	Тема 6. Структурна стійкість і біфуркація динамічних систем	11
7	Тема 7. Практичні методи теорії хаосу. Алгоритм реконструкції атратора системи.	11
8	Тема 8. Класичні та додаткові алгоритми оброблення економічних часових рядів	11
	Разом	88

### 10. Методи навчання

Основними методами навчання є аналітичний, синтетичний та дедуктивний.

Лекції передбачають проблемний виклад матеріалу, допомогу студентам в освоєнні поставлених завдань навчальної дисципліни.

На практичних заняттях відбувається обговорення тем дисципліни, розв'язування прикладних задач, оцінювання знань студентів.

Важливим є вміння студента самостійно працювати з літературою.

<b>Результати навчання</b>	<b>Методи навчання і викладання</b>	<b>Методи оцінювання досягнення результатів навчання</b>
ПРН 1. Формулювати, аналізувати та синтезувати рішення науково-практичних проблем.	Лекції, практичні заняття, консультації, самостійна робота, виконання практичних завдань, написання рефератів та есе.	Форми і методи поточного оцінювання, усне та письмове опитування, тестове опитування, оцінка самостійної роботи, підсумковий контроль: залік.
ПРН 7. Обирати ефективні методи управління економічною діяльністю, обґрунтовувати пропоновані рішення на основі релевантних даних та наукових і прикладних досліджень.	Лекції, практичні заняття, консультації, самостійна робота, виконання практичних завдань, написання рефератів та есе.	Форми і методи поточного оцінювання, усне та письмове опитування, тестове опитування, оцінка самостійної роботи, підсумковий контроль: залік.
ПРН 8. Збирати, обробляти та аналізувати статистичні дані, науково-аналітичні матеріали, необхідні для вирішення комплексних економічних завдань.	Лекції, практичні заняття, консультації, самостійна робота, виконання практичних завдань, написання рефератів та есе.	Форми і методи поточного оцінювання, усне та письмове опитування, тестове опитування, оцінка самостійної роботи, підсумковий контроль: залік.
ПРН 9. Приймати ефективні рішення за невизначених умов і вимог, що потребують застосування нових підходів, методів та інструментарію соціально-економічних досліджень	Лекції, практичні заняття, консультації, самостійна робота, виконання практичних завдань, написання рефератів та есе.	Форми і методи поточного оцінювання, усне та письмове опитування, тестове опитування, оцінка самостійної роботи, підсумковий контроль: залік.
ПРН 16. Здійснювати передпроектний аналіз і моделювання економічних об'єктів різної складності на мікро-, мезо- та макрорівні з позиції сучасних економічних концепцій, забезпечувати інформаційно-аналітичну підтримку бізнес-процесів та інноваційної діяльності	Лекції, практичні заняття, консультації, самостійна робота, виконання практичних завдань, написання рефератів та есе.	Форми і методи поточного оцінювання, усне та письмове опитування, тестове опитування, оцінка самостійної роботи, підсумковий контроль: залік.
ПРН 17. Аналізувати соціально-економічні та еколого-економічні об'єкти і процеси на засадах класичних та сучасних методів моделювання, розробляти управлінські	Лекції, практичні заняття, консультації, самостійна робота, виконання практичних завдань, написання рефератів та есе.	Форми і методи поточного оцінювання, усне та письмове опитування, тестове опитування, оцінка самостійної роботи, підсумковий контроль: залік.

рішення з альтернативними варіантами за допомогою інформаційних технологій		
--	--	--

### 11. Методи контролю

Контроль знань і умінь студентів з навчальної дисципліни "Теорія хаосу в економіці" здійснюється згідно з кредитно-модульною системою організації навчального процесу.

Оцінювання знань, умінь і навичок із навчальної дисципліни здійснюється на основі результатів поточного контролю за 100-бальною шкалою.

1. При проведенні лекційних занять

Лектор проводить облік присутності студентів на лекційних заняттях у типовому журналі.

2. При проведенні практичних занять

Викладач, який проводить практичні заняття, здійснює контроль шляхом обліку присутності студентів на практичних заняттях, оцінки результатів виконання робіт, оцінки рівня засвоєння студентами знань, самостійної роботи. В результаті роботи на практичних заняттях студенти можуть отримати 0-70 балів.

3. Проміжний контроль роботи студента

Колоквіум №1 – 0-30 балів.

### 12. Розподіл балів, що присвоюється студентам

Завдання поточного контролю оцінюються в діапазоні від 0 до 100 балів.

Переведення даних 100-бальної шкали оцінювання в 4-х бальну шкалу та шкалу за системою ECTS здійснюється в такому порядку:

Поточне тестування та самостійна робота		Колоквіум	Сума
Змістовий модуль 1	Змістовий модуль 2		
T1-T4	T5-T8	30	100
35	35		

Оцінювання знань студента здійснюється за 100-бальною шкалою (для екзаменів і заліків). При оформленні документів за екзаменаційну сесію використовується таблиця відповідності оцінювання знань студентів за різними системами.

#### Шкала оцінювання: національна та ECTS

Оцінка ECTS	Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка за національною шкалою	
		для екзамену, курсового проекту (роботи), практики	для заліку
A	90 – 100	відмінно	зараховано
B	81-89	добре	
C	71-80		
D	61-70	задовільно	
E	51-60		
FX	21-50	незадовільно з можливістю повторного складання	не зараховано з можливістю повторного складання
F	0-20	незадовільно з обов'язковим повторним вивченням дисципліни	не зараховано з обов'язковим повторним вивченням дисципліни

### 13. Методичне забезпечення

Методичне забезпечення дисципліни складається з:

- програми навчальної дисципліни;
- робочої програми навчальної дисципліни;
- конспекту лекцій;
- планів практичних занять;
- Методичних вказівок щодо організації та виконання самостійної роботи.

### 14. Рекомендована література

Основна:

1. Білоус В. С. Синергетика та самоорганізація в економічній діяльності. - Навч. посіб./ В. С. Білоус — К. : КНЕУ, 2007. — 376 с
2. Вітлінський, В. В., Діордіца, С. Г., Захарченко, П. В., Іванов, М. М., Кібальник, Л. О., Курбанов, К. Р., ... & Якимчук, Б. Б. Емерджентні методи для емерджентної економіки. 2017. 324 с.
3. Вознюк, О. В. (2013). Синергетика економічних систем: навчальний посібник.  
[http://eprints.zu.edu.ua/26247/1/%D0%92%D0%BE%D0%B7%D0%BD%D1%8E%D0%BA\\_%D1%81%D0%B8%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%B5%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0%20%D0%B5%D0%BA%20%D1%81%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC\\_2003.pdf](http://eprints.zu.edu.ua/26247/1/%D0%92%D0%BE%D0%B7%D0%BD%D1%8E%D0%BA_%D1%81%D0%B8%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%B5%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0%20%D0%B5%D0%BA%20%D1%81%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC_2003.pdf)
4. Дербенцев, В. Д., Сердюк, О. А., Соловійов, В. М., & Шарапов, О. Д. (2010). Синергетичні та еконофізичні методи дослідження динамічних та структурних характеристик економічних систем.  
<http://elibrary.kdpu.edu.ua/bitstream/0564/1045/1/Monogr.pdf>
5. Методологія наукових досліджень у статистиці : навч. посібник / [Матковський С. О., Вдовин М. Л., Гринькевич О. С., Зомчак Л. М., Лагоцький Т. Я., Панчишин Т. В.] – Львів : ЛНУ імені Івана Франка, 2015. – 280 с.
6. Рогоза, М. Є., Рамазанов, С. К., & Мусаєва, Е. К. (2010). Нелінійні моделі та аналіз складних систем: навчальний посібник: в 2 ч.  
<http://dspace.puet.edu.ua/handle/123456789/1732>
7. Сергеева Л.Н. Нелинейная экономика: модели и методы./Научн. Редактор д.э.н., проф.. Ю.Г.Лысенко/ Л.Н. Сергеева. – Запорожье :”Полиграф” – 218 с.
8. Черняк, О. І., Захарченко, П. В., & Клебанова, Т. С. Теорія хаосу в економіці. Бердянськ, 2014. 244 с.
9. Zhang, W. B. (2013). *Synergetic economics: time and change in nonlinear economics* (Vol. 53). Springer Science & Business Media.  
[https://books.google.com.ua/books?hl=uk&lr=&id=b6n1CAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA1&dq=nonlinear+economics+book&ots=e5QOqec4a9&sig=a4oqUW9nhfzc0ceE0C6Wt3QIElQ&redir\\_esc=y#v=onepage&q=nonlinear%20economics%20book&f=false](https://books.google.com.ua/books?hl=uk&lr=&id=b6n1CAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA1&dq=nonlinear+economics+book&ots=e5QOqec4a9&sig=a4oqUW9nhfzc0ceE0C6Wt3QIElQ&redir_esc=y#v=onepage&q=nonlinear%20economics%20book&f=false)
10. Rosser, J. B. (2013). *From catastrophe to chaos: a general theory of economic discontinuities*. Springer Science & Business Media  
[https://books.google.com.ua/books?hl=uk&lr=&id=eZnbBwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP8&dq=bifurkation+economics+book&ots=xKSZ9Tc32K&sig=aUpQa\\_LHoieeFuMP0oLxPbi4TDA&redir\\_esc=y#v=onepage&q=bifurkation%20economics%20book&f=false](https://books.google.com.ua/books?hl=uk&lr=&id=eZnbBwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP8&dq=bifurkation+economics+book&ots=xKSZ9Tc32K&sig=aUpQa_LHoieeFuMP0oLxPbi4TDA&redir_esc=y#v=onepage&q=bifurkation%20economics%20book&f=false)

Допоміжна:

11. Бакурова А. В. Самоорганізація соціально-економічних систем: моделі і методи : монографія / А. В. Бакурова ; Класич. приват. ун-т. - Запоріжжя : КПУ, 2010. - 328 с.

12. Зомчак Л. Економіко-математична модель поведінки виробника з урахуванням ринкових механізмів самоорганізації / Л. Зомчак, І. Мацура // Вісник Львівського університету. Серія економічна. – 2013. – Вип. 49. – С. 46-53.
13. Зомчак Л. М. Економіко-математичне моделювання ринку золота в Україні методами нелінійної динаміки / Л. М. Зомчак, Л. П. Остапович // Економічний аналіз: зб. наук. праць / Тернопільський національний економічний університет; редкол.: В. А. Дерій (голов. ред.) та ін. – Тернопіль: Видавничо-поліграфічний центр Тернопільського національного економічного університету “Економічна думка”, 2015. – Том 22. – № 1. – С. 13-188. (Index Copernicus)
14. Зомчак Л. Моделювання інвестиційних рішень на фрактальних ринках за допомогою технічних індикаторів / Л. Зомчак, О. Миронова // Формування ринкової економіки в Україні: зб. наук. праць. – Випуск 27. – Львів, 2012. – С. 187-193.
15. Зомчак Л. Нова економіка в контексті нелінійних економічних підходів / Зомчак Л., Вдовин М.Л. // Вісник Львівського університету. Серія економічна.–2012. – Вип. 48. – С. 211-214.
16. Зомчак Л.М. Динамічна модель прийняття рішень на фінансовому ринку / Зомчак Л.М. Вовк В.М. // Формування ринкової економіки в Україні. Науковий збірник. – Спецвипуск 18. – Львів, 2008. – С. 45-49.
17. Зомчак Л.М. Моделювання хаотичної динаміки курсів акцій українських компаній / Зомчак Л.М. // Економіка: проблеми теорії та практики: Збірник наукових праць. – Випуск 228: В 4 т. – Т. I. – Дніпропетровськ: ДНУ, 2007. – С. 244-250.
18. Зомчак Л.М. Передпрогнозний аналіз фондового індексу ПФТС методами вейвлет-технологій / Зомчак Л.М. // Проблеми і перспективи розвитку банківської системи України: Збірник наукових праць. – Випуск 22. – Суми: УАБС НБУ, 2007. – С. 296-304.
19. Зомчак Л.М. Показник Ляпунова як міра розбіжності фінансових часових рядів // Зомчак Л.М./ Вісник Львівського університету імені. Серія економічна. – Вип.38. – Львів, 2007. – С.76-79.
20. Зомчак Л.М. Рекурентний кількісний аналіз фінансового ринку України / Зомчак Л.М. //Вісник Львівського університету. Серія економічна. – Вип.42. – Львів, 2009. – С.440-446.
21. Зомчак Л.М. Синергетичний підхід до аналізу фінансово-економічних систем / Зомчак Л.М. Артими-Дрогомирецька З.Б., Негрей М.В // Формування ринкової економіки в Україні. Науковий збірник. – Спецвипуск 20. Сучасна парадигма управління та Острозька Біблія. – Львів, 2009. – С. 537-541.
22. Зомчак Л.М. Стохастичне моделювання та прогнозування нелінійної динаміки цін на фондовому ринку / Зомчак Л.М.// Вісник Львівського університету. Серія економічна. – Вип.45. – Львів, 2011. – С. 96-101.
23. Козик В.В. Застосування біофізичних моделей у практичній економіці: монографія / В.В. Козик, Ю.І. Сидоров. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2011. – 180 с.
24. Коляда, Ю. В., & Коляда, Ю. В. (2019). Адаптивна парадигма моделювання економічної динаміки. [http://projects.dune-hd.com/bitstream/handle/2010/33960/19-5555\\_K.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://projects.dune-hd.com/bitstream/handle/2010/33960/19-5555_K.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
25. Кузьмін О.Є. Досягнення і проблеми еволюційної економіки: монографія / О.Є Кузьмін, Ю.І. Сидоров, В.В. Козик. - Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2011. – 252 с.
26. Решетило В. П. Экономическая синергетика институциональных изменений / В. П. Решетило ; Харьковский национальный ун-т им. В.Н.Каразина. - Х. : ХНУ, 2006. - 288 с.
27. Сергеева Л.Н. Моделирование поведения экономических систем методами нелинейной динамики (теории хаоса) / Л.Н. Сергеева. – Запорожье : ЗГУ, 2002. – 227с.

28. Соловійов В.М. Математична економіка. Навчально–методичний посібник для самостійного вивчення дисципліни / В.М. Соловійов. – Черкаси: ЧНУ, 2008. –136 с.
29. Шарапов О.Д. Економічна кібернетика: Навч. посібник./ Шарапов О.Д., Дербенцев В.Д.,Семьонов Д.І. – К.:КНЕУ, 2004. – 231 с
30. Arthur, W. B. (2013). Complexity economics. *Complexity and the Economy*. [https://books.google.com.ua/books?hl=uk&lr=&id=AOxjBAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA1&dq=Complexity+Economics+&ots=DaOt\\_Q9m3&sig=lSgyx8mTJef95IqaBdQmcvjeoo8&redir\\_esc=y#v=onepage&q=Complexity%20Economics&f=false](https://books.google.com.ua/books?hl=uk&lr=&id=AOxjBAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA1&dq=Complexity+Economics+&ots=DaOt_Q9m3&sig=lSgyx8mTJef95IqaBdQmcvjeoo8&redir_esc=y#v=onepage&q=Complexity%20Economics&f=false)
31. Arthur, W. B. (2021). Foundations of complexity economics. *Nature Reviews Physics*, 1-10. <https://www.nature.com/articles/s42254-020-00273-3>
32. Ausloos M. Econophysics of stock and foreign currency exchange markets. Режим доступу: <http://arhiv.org/abs/physics/0606012v1>.
33. Barnett, W. A., Serletis, A., & Serletis, D. (2015). Nonlinear and complex dynamics in economics. *Macroeconomic Dynamics*, 19(8), 1749.
34. Brock W. A. A Test for independence based on the correlation dimension / W.A. Brock; W.D. Dechert; J.A. Sheinkman, B. LeBaron // *Econometric Reviews*. – 1996. - №15(3). – P. 197-235.
35. Brock W. A. Heterogeneous beliefs and routes to chaos in a simple asset pricing model / W. A. Brock, C. H. Hommes // *Journal of Economic Dynamics and Control*. - 1998. - № 22. – P.1235—1274.
36. Chen, Y., & Leung, A. Y. (2012). *Bifurcation and chaos in engineering*. Springer Science & Business Media. [https://books.google.com.ua/books?hl=uk&lr=&id=nsHcBwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA1&dq=bifurkation+economics+book&ots=OED\\_uAsl5N&sig=-dtRY28xvFrKojbxGRO\\_yx8i\\_aA&redir\\_esc=y#v=onepage&q=bifurkation%20economics%20book&f=false](https://books.google.com.ua/books?hl=uk&lr=&id=nsHcBwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA1&dq=bifurkation+economics+book&ots=OED_uAsl5N&sig=-dtRY28xvFrKojbxGRO_yx8i_aA&redir_esc=y#v=onepage&q=bifurkation%20economics%20book&f=false)
37. Chiarella C. The dynamics of speculative behavior // *Annals of operations research*. – 1992. - № 37. – P. 669-700.
38. Enns, R. H. (2010). *It's a nonlinear world*. Springer Science & Business Media. [https://books.google.com.ua/books?hl=uk&lr=&id=UW9AAAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR7&dq=nonlinear+economics+book&ots=S\\_6h2SiemE&sig=iD7Zoy1bd6B-xulGWUiQPcPi\\_ag&redir\\_esc=y#v=onepage&q=nonlinear%20economics%20book&f=false](https://books.google.com.ua/books?hl=uk&lr=&id=UW9AAAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR7&dq=nonlinear+economics+book&ots=S_6h2SiemE&sig=iD7Zoy1bd6B-xulGWUiQPcPi_ag&redir_esc=y#v=onepage&q=nonlinear%20economics%20book&f=false)
39. Farjoun, E., & Machover, M. (Eds.). (2020). *Laws of chaos*. Verso. [https://books.google.com.ua/books?hl=uk&lr=&id=LdLMDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA13&dq=chaos+economics+book&ots=-vXKgA0\\_SI&sig=YTStMk20dvoxb4ILChdJcdTioqg&redir\\_esc=y#v=onepage&q=chaos%20economics%20book&f=false](https://books.google.com.ua/books?hl=uk&lr=&id=LdLMDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA13&dq=chaos+economics+book&ots=-vXKgA0_SI&sig=YTStMk20dvoxb4ILChdJcdTioqg&redir_esc=y#v=onepage&q=chaos%20economics%20book&f=false)
40. Gleick, J. (2011). *Chaos: Making a new science*. Open Road Media.
41. Holt, R. P., Rosser Jr, J. B., & Colander, D. (2011). The complexity era in economics. *Review of Political Economy*, 23(3), 357-369.
42. Holyst J. Observations of deterministic chaos in financial time series by recurrence plots, can one control chaotic economy? / J. Holyst, M. Zebrowska, K. Urbanowicz // *The European Physical Journal*. – 2001. – №20. – P. 531-535.
43. Hommes, C. (2013). *Behavioral rationality and heterogeneous expectations in complex economic systems*. Cambridge University Press. [https://www.google.com/books?hl=uk&lr=&id=-wHzWwtCCOcC&oi=fnd&pg=PR11&dq=bifurkation+economics+book&ots=2WtCSlCcPg&sig=gr4503b7\\_pWUCIHIsUjCA0gUIVY](https://www.google.com/books?hl=uk&lr=&id=-wHzWwtCCOcC&oi=fnd&pg=PR11&dq=bifurkation+economics+book&ots=2WtCSlCcPg&sig=gr4503b7_pWUCIHIsUjCA0gUIVY)
44. Hommes, C. (2013). *Behavioral rationality and heterogeneous expectations in complex economic systems*. Cambridge University Press.
45. Hommes, C., & LeBaron, B. (Eds.). (2018). *Computational economics: heterogeneous agent modeling*. Elsevier.

46. Hsieh D. Chaos and nonlinear dynamics: application to financial markets: application to financial markets // *Journal of finance*. – 1991. – № 46(5). – P. 1839-1877.
47. Kurennaya K. Adaptive metrics in the nearest neighbours method / K. Kurennaya, M. Kulesh, M. Holschneider // Preprint Series DFG-SPP 1114 “Mathematical methods for time series analysis and digital image”. – 2006. – № 139. 2006 – 27 p.
48. LeBaron, B. (1994). Chaos and nonlinear forecastability in economics and finance. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A: Physical and Engineering Sciences*, 348(1688), 397-404.
49. Los C. Multifractal spectral analysis of the 1987 stock market crash / C. Los, R. Yalamova // *International research journal of finance and economics*. – 2006. - Issue 4. - P.105-132.
50. Lux T. Application of statistical physics in finance and economics // Warwick finance research institute, Complex market working papers. – 2006. Режим доступа: [warwick.ac.uk/fac/soc/wbs/.../applications\\_of\\_statistical\\_physics.pdf](http://warwick.ac.uk/fac/soc/wbs/.../applications_of_statistical_physics.pdf)
51. Mantegna R.N. An introduction to econophysics. Correlations and complexity in finance / R.N. Mantegna, H.E. Stenley. - Cambridge University Press. - 2000. - 253 p.
52. Mitchell, M. (2009). *Complexity: A guided tour*. Oxford University Press.
53. Peters, E. E. (1994). *Fractal market analysis: applying chaos theory to investment and economics* (Vol. 24). John Wiley & Sons.
54. Peters, E. E. (1996). *Chaos and order in the capital markets: a new view of cycles, prices, and market volatility*. John Wiley & Sons.
55. Puu, T. (2013). *Attractors, bifurcations, & chaos: Nonlinear phenomena in economics*. Springer Science & Business Media.  
[https://books.google.com.ua/books?hl=uk&lr=&id=Ry3yBwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA1&dq=nonlinear+economics+book&ots=mAS2YWzJ5&sig=m5TTmVuoWy6LqAu3J\\_QFZRR9hKM&redir\\_esc=y#v=onepage&q=nonlinear%20economics%20book&f=false](https://books.google.com.ua/books?hl=uk&lr=&id=Ry3yBwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA1&dq=nonlinear+economics+book&ots=mAS2YWzJ5&sig=m5TTmVuoWy6LqAu3J_QFZRR9hKM&redir_esc=y#v=onepage&q=nonlinear%20economics%20book&f=false)
56. Rama C. Long range dependence in dynamical market / J. Levy-Vehel, E. Luton // *Fractals in engineering: new trends in theory and applications*. – Springer, 2005. – P. 159-181.
57. Rosser, J. B. (2011). *Complex evolutionary dynamics in urban-regional and ecologic-economic systems: From catastrophe to chaos and beyond*. Springer Science & Business Media.  
[https://books.google.com.ua/books?hl=uk&lr=&id=oLQ4SHH3L44C&oi=fnd&pg=PP5&dq=chaos+economics+book&ots=9cvBS-AY4e&sig=T3cTQ0SkmkP7j\\_swombc5V1NhsI&redir\\_esc=y#v=onepage&q=chaos%20economics%20book&f=false](https://books.google.com.ua/books?hl=uk&lr=&id=oLQ4SHH3L44C&oi=fnd&pg=PP5&dq=chaos+economics+book&ots=9cvBS-AY4e&sig=T3cTQ0SkmkP7j_swombc5V1NhsI&redir_esc=y#v=onepage&q=chaos%20economics%20book&f=false)
58. Schreiber T. Surrogate time series / T. Schreiber, A. Schmitz // *Physica*. - 2000. - № 142 (346). – P. 121-128.
59. Shang P., Li X. Chaotic analysis of traffic time series / P. Shang, X. Li, S. Kamae // *Chaos, solitons and fractals*. – 2005. – № 25. – P. 248-252.
60. Skiadas, C. H., & Skiadas, C. (Eds.). (2017). *Handbook of applications of chaos theory*. CRC Press.  
[https://books.google.com.ua/books?hl=uk&lr=&id=CRNjDAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=chaos+economics+book&ots=5PF1UBAMf5&sig=Y5ADckryY5pfaijQvjWhA5ivII&redir\\_esc=y#v=onepage&q=chaos%20economics%20book&f=false](https://books.google.com.ua/books?hl=uk&lr=&id=CRNjDAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=chaos+economics+book&ots=5PF1UBAMf5&sig=Y5ADckryY5pfaijQvjWhA5ivII&redir_esc=y#v=onepage&q=chaos%20economics%20book&f=false)
61. Sornette, D. (2017). *Why stock markets crash: critical events in complex financial systems* (Vol. 49). Princeton University Press.
62. Strogatz, S. H. (2018). *Nonlinear dynamics and chaos with student solutions manual: With applications to physics, biology, chemistry, and engineering*. CRC press.
63. Taleb, N. N. (2012). *Antifragile: Things that gain from disorder* (Vol. 3). Random House Incorporated.

64. Tu, P. N. (2012). *Dynamical systems: an introduction with applications in economics and biology*. Springer Science & Business Media.  
[https://books.google.com.ua/books?hl=uk&lr=&id=7Ff9CAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR5&dq=bi furkation+economics+book&ots=jW2\\_5eydDi&sig=qNLwKcdgzBKL-BnMZA4DbsA1RbQ&redir\\_esc=y#v=onepage&q=bifurkation%20economics%20book&f=false](https://books.google.com.ua/books?hl=uk&lr=&id=7Ff9CAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR5&dq=bi+furkation+economics+book&ots=jW2_5eydDi&sig=qNLwKcdgzBKL-BnMZA4DbsA1RbQ&redir_esc=y#v=onepage&q=bifurkation%20economics%20book&f=false)
65. Zbilut J. Embeddings and delays as derived from quantification from recurrence plots / J. Zbilut, C. Webber // *Physics Letters A*. – 1992. - №171. – P. 199-203.
66. Zhang, W. B. (1991). Implications of Synergetic Economics. In *Synergetic Economics* (pp. 213-227). Springer, Berlin, Heidelberg.
67. Zhang, W. B. (2013). *Synergetic economics: time and change in nonlinear economics* (Vol. 53). Springer Science & Business Media.
68. Zomchak L. M., Ostapovych L. P. Mathematical modeling of nonlinear platinum dynamics in Ukraine [Online] // *Economic Processes Management: International Scientific E-Journal*. 2015. № 4. Available: [http://epm.fem.sumdu.edu.ua/download/2015\\_4/2015\\_4\\_7.pdf](http://epm.fem.sumdu.edu.ua/download/2015_4/2015_4_7.pdf) (Index Copernicus)
69. Zomchak L.M. Economic-mathematical model of asset price dynamics with heterogeneous traders / L. M. Zomchak // *Economics and Management: Challenges and Perspectives: Collection of scientific articles*. - "East West" Association For Advanced Studies and Higher Education GmbH, Vienna, Austria, 2015.- P. 195-198.

## 15. Інформаційні ресурси

1. Santa Fe Institute: Home <https://www.santafe.edu/>
2. Complexity Explorer <https://www.complexityexplorer.org/>
3. Fractal Foundation <https://fractalfoundation.org/>
4. The Nonlinear Dynamics Group  
<https://web.archive.org/web/20160310065017/http://lagrange.physics.drexel.edu/>
5. The Chaos Hypertextbook <https://hypertextbook.com/chaos/>
6. CHAOS: CLASSICAL AND QUANTUM
7. Predrag Cvitanović, Roberto Artuso, Ronnie Mainieri, Gregor Tanner, Gábor Vattay, Niall Whelan and Andreas Wirzba <http://chaosbook.org/>
8. W. Brian Arthur <http://tuvalu.santafe.edu/~wbarthur/index.html>
9. <http://sprott.physics.wisc.edu/phys505/> Topics in Physics Chaos and Time-Series Analysis. Навчальна програма університету штату Вісконсін. ПОВНИЙ КУРС (15 ЛЕКЦІЙ) з хаосу і нелінійної динаміки.
10. <http://sprott.physics.wisc.edu/> Центральна сторінка Вісконсінського університету, присвячена фракталам і хаосу. Обширна колекція посилань
11. <http://www.industrialstreet.com/chaos/metalink.htm> Chaos Metalink Homepage. Підручники з хаотичної динаміки, наукові публікації, фрактальна музика, безплатне програмне забезпечення. Обширна колекція посилань
12. <http://www.brint.com/Systems.htm> Complexity, Complex Systems & Chaos Theory Organizations as Self-Adaptive Complex Systems. Найкраща в Інтернеті колекція зі складних систем і теорії хаосу. Велика кількість публікацій і посилань на наукові журнали
13. <http://www.PrimaSounds.com/index.html> Опис фрактальної музики та її властивостей. Філософська школа, присвячена аспектам сприйняття хаосу; обширне поле діяльності для нових напрямів наукових досліджень у галузі теорії хаосу і музики
14. <http://spanky.triumf.ca/www/spanky.html> Фрактальна база даних фірми Spanky. Програми (Fractint), публікації, посилання
15. <http://www.vanderbilt.edu/AnS/psychology/cogsci/chaos/workshop/WorkshopF.html> Basic Concepts in Nonlinear Dynamics and Chaos. Основні поняття нелінійної динаміки і хаосу. Галереї, посилання, підручник
16. <http://www-chaos.umd.edu/Chaos at Maryland>. Університет штату Меріленд. Сторінка присвячена загальним питанням теорії хаосу. Підручники з хаотичної динаміки.

Дослідження, наукові публікації, книги. Галерея хаосу, мережні конференції. Безплатне програмне забезпечення. Обширна колекція посилань

17. <http://www.springer-ny.com/nst> Журнал «Нелінійна наука сьогодні». Цікаві статті та посилання

18. <http://sprott.physics.wisc.edu/pubs.htm> Books and Publications J. З. Sprott. Книги і публікації Дж. Спротта (Університет штату Вісконсін). Основні теми: дивні атрактори; питання програмування нелінійної динаміки; дослідження хаотичних процесів у плазмі. Посилання на програмне забезпечення і фрактальну галерею

19. <http://asa.aip.org/index.html> Сторінка Акустичної спілки Америки. Праці з фрактальної музики, посилання, колекція музики, інформація про конференції

20. <http://math.bu.edu/DYSYS/dysys.html> Сторінка Університету Бостона, присвячена динамічним системам. Інтерактивні підручники і статті про фрактали і динамічні системи, колекція JAVA-аплетів

21. <http://vip.cs.utsa.edu/flames/overview.html> UTSA: Combustion Chaos Group. Група хаотичної динаміки Техаського університету, Сан-Антоніо. Експериментальні дослідження, моделювання, наукові публікації. Дослідження турбулентних систем, біфуркаційних систем і спеціальних питань теорії хаосу

22. <http://www.bgu.ac.il/chaos/> Персональна сторінка Володимира Готнара, Єрусалимський університет. Публікації про хаотичні явища в галузі хімії та психології

23. <http://www.cs.colorado.edu/~lizb/Home.html> Персональна сторінка Ліз Бредлі, співробітниця Центру з вивчення хаосу, штат Колорадо, департамент прикладної математики. Публікації, курс лекцій у форматі PS

24. <http://mitpress.mit.edu/e-journals/Computer-Music-Journal/> Журнал комп'ютерної музики. Статті, звукові файли, колекція посилань

25. <http://membrane.com/chaos/index.html> Фрактальна і сучасна музика. Приклади, посилання