

## ЗМІСТ

<b>ПЕРЕДМОВА .....</b>	<b>6</b>
<b>РОЗДІЛ 1. ДИНАМІЧНИЙ ХАОС КОСМІЧНОЇ РАДІОФІЗИКИ ЯК ПРЕДМЕТ ЕНТРОПІЇ У РАКЕТНО-КОСМІЧНИХ КОМПЛЕКСАХ УКРАЇНИ .....</b>	<b>7</b>
1.1. Визначення та класифікація нелінійних динамічних систем у ракетно-космічних комплексах України .....	7
1.2. Принципи досліджень нелінійних динамічних систем.....	10
1.3. Фазовий простір нелінійних динамічних систем.....	12
1.3.1. Фазовий портрет.....	12
1.3.2. Дивний атрактор.....	16
1.4. Топологія та інші характеристики нелінійних динамічних систем.....	19
1.4.1. Об'єм атрактора.....	20
1.4.2. Показники Ляпунова.....	20
1.4.3. Ентропія.....	21
1.4.4. Самоподібність і фрактальна розмірність.....	23
1.4.5. Час передбачення.....	27
1.5. Види динаміки нелінійних динамічних систем.....	30
1.5.1. Детермінізм, випадковість, хаотичність.....	30
1.5.2. Теорія хаосу як ступень до пізнання реальних процесів і систем.....	33
1.6. Умови виникнення та критерії хаотичної динаміки.....	35
1.6.1. Глобальна стійкість як умова виникнення хаотичної динаміки.....	35
1.6.2. Критерії хаотичності динаміки.....	40
1.7. Еволюція відкритих систем.....	43
1.7.1. Критерій «S-теорема».....	44
1.7.2. Самоорганізація і «норма хаотичності».....	45
1.8. Завдання вимірювань і досліджень нелінійних динамічних систем.....	47
1.8.1. Фізичні, біологічні та нелінійні динамічні системи іншої природи .....	47
1.8.2. Лазер як нелінійна динамічна система.....	49
1.8.3. Хаотична динаміка лазерів .....	50
1.8.4. Людина як нелінійна динамічна система.....	55
1.9. Процеси і властивості нелінійних динамічних систем, які впливають на вимірювання.....	57

**РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ  
РАКЕТНО-КОСМІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ УКРАЇНИ ..... 60**

2.1. Фрактальний метод у ентропійних процесах  
ракетно-космічного комплексу України:  
результати фізичного експерименту ..... 60

2.2. Інтегрально-аналітичний метод оцінювання  
результатів вимірювань в ентропійних процесах:  
нелінійні динамічні системи із хаотичною динамікою ..... 79

2.3. Концептуальна теорія ймовірності інформації  
та кодування в ракетно-космічних комплексах України ..... 90

2.4. Ракетне паливо як конструкційна полімеризація  
твердопаливних та рідиннопаливних ракет ..... 92

**РОЗДІЛ 3. ЛЮДИНА ЯК БІОФІЗИЧНА  
ДИНАМІЧНА СИСТЕМА У РАКЕТНО-КОСМІЧНИХ  
КОМПЛЕКСАХ УКРАЇНИ..... 98**

3.1. Модель дослідження біофізичних  
нелінійних динамічних систем ..... 98

3.1.1. Людина як біофізична нелінійна динамічна система.....100

3.1.2. Час як ключова кількісна оцінка.....101

3.1.3. Вимірювання здоров'я людини.....103

3.1.4. Самоорганізація біофізичної системи.....105

3.1.5. Норма ентропії на організм людини.....106

3.1.6. Нормований вплив на людину.....107

3.2. Практичне застосування моделі  
дослідження біофізичних систем .....109

3.2.1. Проведення експерименту.....110

3.2.2. Оцінювання результатів експерименту.....110

3.3. Висновки щодо моделі дослідження  
біофізичних нелінійних динамічних систем.....114

**РОЗДІЛ 4. РАКЕТНО-КОСМІЧНІ КОМПЛЕКСИ  
УКРАЇНИ У ВОЄННИХ ПРАКТИКАХ.....116**

4.1. Феномен радіофізики щодо практичного  
метеовпливу у ракетно-космічних комплексах України:  
навколишнє та космічне середовище .....116

4.2. Контроль космічного простору України .....120

4.3. Управління та випробування  
космічних засобів далекого спостереження .....121

4.4. Кібербезпека у ракетно-космічних комплексах України: гібридні підходи щодо нейронних обчислень у механізмах людського мозку .....	126
4.5. Стратегічна панорама космодромів та ракетних полігонів світу щодо ракетно-космічного комплексу України...	128
4.6. Медичний захист діючого персоналу від токсичних компонентів у ракетно-космічному комплексі України.....	150
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....</b>	<b>158</b>

## ПЕРЕДМОВА

---

У сучасну цифрову добу глобалізаційних зрушень на рівні особи, держави та суспільства, коли відбуваються стрімкі процеси нелінійних явищ у життєвому світі, актуального значення набувають ракетно-космічні комплекси України. Адже російський ворог уже не перший рік продовжує цілеспрямований терор по нашій території, наносячи ракетно-балістичні удари. Тому, для цього негайно потрібна рішуча протидія як введення новітніх ракетно-космічних комплексів у повоєнній Україні. Це, в першу чергу, докорінні зміни у законодавчому процесі України, а саме: запровадження спеціально-правових норм регулювання у конституційних аспектах Захисту мирного неба України, що стосується воєнної кодифікації та міжнародних стандартів.

Саме з цією **метою** автори стверджують концептуальну модель теорії ймовірності інформації та кодування в ракетно-космічних комплексах. Історичним свідченням цьому слугує стратегічна панорама космодромів та ракетних полігонів світу, що є затребуваним у контексті ракетно-космічних комплексів повоєнної України.

*Від авторів*

## РОЗДІЛ 1.

---

---

### **ДИНАМІЧНИЙ ХАОС КОСМІЧНОЇ РАДІОФІЗИКИ ЯК ПРЕДМЕТ ЕНТРОПІЇ У РАКЕТНО-КОСМІЧНИХ КОМПЛЕКСАХ УКРАЇНИ**

За кіберсучасних умов цифрового суспільства знань значна кількість із систем навколишнього світу – це дисипативні нелінійні динамічні системи у життєвому світі. Тому, у цьому розділі автори наполягають на навчально-наукову важливість дослідження основних характеристик та властивостей таких затребуваних часом систем. При цьому, автори означеного посібнику сутнісно, класифікаційно та критеріально надають спробу здійснити системний аналіз ракетно-космічних комплексів України щодо складних динамічних систем, розглянути їх приклади. *Це полягає в наступному викладі матеріалу.*

#### **1.1. Визначення та класифікація нелінійних динамічних систем у ракетно-космічних комплексах України**

Для розроблення принципів положень теорії дослідження нелінійних динамічних систем (НДС) на основі моделей вимірювань в НДС повинні бути досліджені і систематизувати властивості та процеси в НДС, необхідні для створення теоретичної моделі вимірювання та експериментальних моделей дослідження фізичних та біофізичних НДС [88].

Нелінійні динамічні системи є найскладнішими для дослідження динамічними системами. Визначимо та окреслимо властивості НДС, що будуть розглянуті.

Під динамічною системою (ДС) розуміють будь-який об'єкт або процес, для якого однозначно визначено поняття стану, як сукупності значень деяких величин (динамічних змінних (ДЗ))  $[X_1(t), \dots, X_n(t)]$  в певний момент часу  $t$ , і заданий закон,  $F(X_i, t)$ , який описує еволюцію початкового стану  $[X_1(t_0), \dots, X_n(t_0)]$  із плином часу:

$$F[X_1(t_0), \dots, X_n(t_0)] \rightarrow [X_1(t), \dots, X_n(t)]. \quad (1.1)$$

Динамічна система може бути описана диференціальним рівнянням виду:

$$\frac{dX_i(t)}{dt} = F[X_1(t), \dots, X_n(t)]. \quad (1.2)$$

Простір всіх можливих станів системи, що описуються виразом (1.1), формує фазовий простір системи. Розмірність фазового простору, як і самої системи, визначається кількістю  $n$  величин  $X_i(t)$  – динамічних змінних (ДЗ).

До класу динамічних систем можна віднести системи будь-якої природи: фізичні та біологічні об'єкти, хімічні процеси, соціуми та біопопуляції, екосистеми та фінансові ринки, обчислювальні процеси і процеси перетворення інформації [49, с. 42]. Аналіз літератури, присвяченої дослідженням складних систем, показав, що єдиної системи класифікації ДС немає, але класифікацію можна виконати, виходячи з природи походження і основних властивостей систем.

За природою походження динамічні системи можна розділити на: фізичні, біологічні (біофізичні), хімічні, екологічні, інформаційні, соціальні та інші.

Спираючись на основні властивості, класифікацію ДС можна виконати за такими ознаками [88]:

- за характером динаміки – детерміновані та стохастичні, лінійні та нелінійні;
- за взаємодією із зовнішнім середовищем – відкриті та закриті;
- за можливістю перетворення енергії в тепло – дисипативні та консервативні;
- за характером зміни стану – безперервні та дискретні;

— за можливістю самоорганізації – ті, що еволюціонують та ті, що ні;

— за структурою – ієрархічні та прості.

Розглянемо основні риси наведених систем. Так, детермінованими називаються системи, ДЗ яких змінюються з плином часу за суворо визначеним законом  $F(X_i, t)$ . Стохастичні системи характеризуються випадковим характером динаміки ДЗ, значення яких можуть бути описані математичним апаратом теорії ймовірності. Лінійні системи – це системи з лінійним або лінеаризованим законом еволюції  $F(X_i, t)$ .

Нелінійна динамічна система – це динамічна система, закон еволюції  $F(X_i, t)$  якої не може бути описаний лінійним або лінеаризованим рівнянням. Тобто значення її ДЗ змінюються з плином часу нелінійним чином. При цьому закон еволюції  $F(X_i, t)$  реальних НДС описати аналітично вдається вкрай рідко, що робить, за рідкісним винятком, нездійсненним завдання прогнозування їх стану [75, с. 43]. Зауважимо, що лінійна система є детермінованою, в той час як нелінійну систему, в силу складної динаміки, не може бути однозначно віднесено ні до детермінованої, ні до стохастичної системи. Відкриті системи, згідно з визначення І. Пригожина, це системи через які можуть протікати потоки енергії та ентропії [112, с. 43]. При досить великих потоках в таких системах можуть проходити процеси нелінійної самоорганізації (еволюції). Закриті системи, відповідно, демонструють властивості, протилежні властивостями відкритих систем.

Дисипативні системи – це відкриті системи, які оперують далеко від термодинамічної рівноваги та характеризуються можливістю дисипації (розсіювання) енергії, що надходить ззовні. Такі системи часто демонструють еволюційні процеси та характеризуються спонтанною появою складної, часто хаотичної структури. Консервативні або гамільтонові системи в науковій літературі розглядаються як окремий випадок динамічних систем, які описують фізичні процеси без дисипації.

Безперервні та дискретні системи відрізняються безперервним та дискретним відповідно характером зміни значень ДЗ. Зауважимо, що у випадку дискретних вимірювань навіть системи із безперервним характером ДЗ вважаються дискретними.

Системи, що еволюціонують, – це системи, здатні до еволюції та самоорганізації, що виражається в зменшенні ентропії та збільшенні впорядкованості.

Ієрархічні системи – це системи, в яких спостерігається домінуюча дія одного чинника або ДЗ на інші, що проявляється в еволюційних змінах і поверненні системи в стійкий стан після припинення зовнішнього збудження. Прості системи такої особливості позбавлені.

Наведена класифікація є неповною. У ряді джерел можна зустріти такі види систем як зосереджені та розподілені, автономні та неавтономні; автоколивальні. Динамічні системи, що розглядаються в рамках роботи – це відкриті дисипативні НДС, які можуть мати властивості, притаманні системам, наведеним в класифікації, наприклад, хаотичністю та самоорганізацією. Це складні, ієрархічні системи. Прикладами таких систем можуть служити: лазер, системи зв'язку, наприклад хаотичні оптичні системи, біологічний організм, наприклад людина, екологічні системи та інші об'єкти дослідження [88].

Усі перераховані об'єкти представляють великий інтерес для дослідників і соціуму. При цьому дослідження хаотичних процесів в дисипативних НДС це одне з фундаментальних завдань сучасного природознавства. Динамічні змінні таких систем повинні бути коректно виміряні з застосуванням моделей вимірювання та підходів в максимальному ступені відповідних властивостям та процесам в НДС. Коректне вимірювання значень ДЗ таких НДС служить не тільки умовою оцінювання їх поточного стану, але дозволить робити прогнози та здійснювати управління системами.

## **1.2. Принципи досліджень нелінійних динамічних систем**

У процесі досліджень реальних НДС (не змодельованих математично) у другій половині ХХ століття було створено низку теорій, найяскравішими з яких є: теорія динамічного хаосу [80, с. 114], синергетика [133, с. 202], теорія динамічних систем [111, с. 331]. Ці теорії вже стали міждисциплінарними та сформувався на стику декількох наук: фізики, хімії, біології, екології,

соціології і т. ін. В центрі їх уваги знаходяться об'єкти, які можуть бути представлені як НДС, і їх властивості. Вони вирішують завдання дослідження, моделювання та прогнозування динаміки реальних НДС. Аналіз основних положень та інструментів цих теорій дозволить розробити модель вимірювань в НДС.

Для дослідження НДС використовують два методи, що відрізняються типом математичної моделі системи (1.1) [49, с. 54]. Перший метод заснований на математичному моделюванні системи і пошуку функції еволюції  $F(X_i, t)$  (1.2). Значення  $[X_1(t), \dots, X_n(t)]$  і функція еволюції  $F(X_i, t)$  визначають стан системи в певний момент часу, який являє собою точку в фазовому просторі системи. Зміні стану системи відповідає рух точки, яка «зображує», в фазовому просторі. При цьому ця точка описує фазову траєкторію. Сукупність фазових траєкторій складають фазовий портрет системи. Фазовий портрет і функція еволюції складають математичну модель системи. Фазовий портрет служить об'єктом дослідження характеру поведінки системи. Знання функції еволюції дозволяє прогнозувати динаміку та значення ДЗ системи в будь-який момент часу.

Наріжним каменем описаного методу є вирішення найскладнішої математичної задачі пошуку функції еволюції. Цієї необхідності позбавлений другий метод, орієнтований на дослідження функціонального боку системи. Він не дозволяє досліджувати всі тонкощі внутрішньої структури системи. Система інтерпретується як «чорний ящик» із вхідними та вихідними значеннями динамічних змінних. При цьому «чорний ящик» грає роль функції еволюції, перетворюючи вхідні  $[X_1(t_0), \dots, X_n(t_0)]$  на вихідні  $[X_1(t), \dots, X_n(t)]$  величини, а математична модель визначається просторами входів і виходів.

Перший із викладених методів надає вичерпно повну інформацію про систему, але на практиці може бути реалізований лише в рідкісних випадках. Другий, більш «грубий», метод не дозволяє досліджувати всі тонкощі системи, але дозволяє визначити значення ДЗ в окремі проміжки часу та побудувати неповний, дискретний фазовий портрет. Надалі, обидва описаних метода будуть застосовані для складання моделі вимірювання та для аналізу результатів вимірювання ДЗ та дослідження НДС.

### 1.3. Фазовий простір нелінійних динамічних систем

Методи дослідження НДС часто є якісними. Для цієї мети була розроблена якісна теорія динамічних систем [137, с. 384]. Її ключовий елемент – фазовий простір. Фазовий простір і фазовий портрет, який формується в ньому, є найбільш поширеними інструментами аналізу НДС і наочного уявлення процесів, що відбуваються в них складних системах. Дослідження фазового портрета дозволяє визначити:

- тип динаміки системи (детермінована, стохастична, хаотична);
- показники Ляпунова;
- час передбачення;
- розмірність вкладення;
- точки біфуркації та ін. [80, с. 208].

#### 1.3.1. Фазовий портрет

На фазовому портреті відображаються точки положення рівноваги, які допомагають, не вирішуючи диференціальних рівнянь (1.2), передбачити поведінку динамічної системи. Ці точки рівноваги можуть бути стійкими або нестійкими. Якщо система знаходиться в околиці стійкої точки, то малі обурення не порушують стійкості системи. Якщо точка рівноваги нестійка, то обурення будуть прогресувати, що може привести до якісної перебудови системи.

Матриця станів (1.1) розмірності  $n \times m$ , де  $n$  – кількість ДЗ, а  $m$  – кількість вимірювань у часі кожної ДЗ, може бути представлена у вигляді:

$$\begin{bmatrix} X_1(t_0) & \dots & X_n(t_0) \\ \dots & & \dots \\ X_1(t_i) & \dots & X_n(t_i) \\ \dots & & \dots \\ X_1(t_m) & \dots & X_n(t_m) \end{bmatrix}. \quad (1.3)$$

Залежно від властивостей системи фазовий портрет може бути обмеженим або необмеженим у просторі. Він може збільшуватися або зменшуватися. У консервативних системах фазовий об'єм залишається незмінним, в дисипативних – змінюється з часом [93, с. 1312].

Особливий вид фазового портрета це атрактор. Існує ряд визначень цього терміну. Наприклад, геометричне визначення, атрактор – це компактна підмножина фазового простору динамічної системи, усі траєкторії з деякої околиці якого прагнуть до неї з часом, який прагне до нескінченності. Або, фізичне визначення, згідно якого атрактор – це стан динамічної системи, до якого вона прагне в процесі свого руху (розвитку). У разі аперіодичних процесів атрактор стійкої динамічної системи в фазовому просторі зображується точкою, а в разі періодичних процесів – граничним циклом. Існує кілька видів атракторів: регулярні (прості), випадкові та хаотичні, квазіатрактори (квазіатрактор це стійка гранична множина фазового простору динамічної системи, що містить нетривіальну гіперболічну підмножину та стійкі періодичні рухи дуже малої міри грубості) (рис. 1.1). Наявність атрактора свідчить про «особливу» динаміку системи.

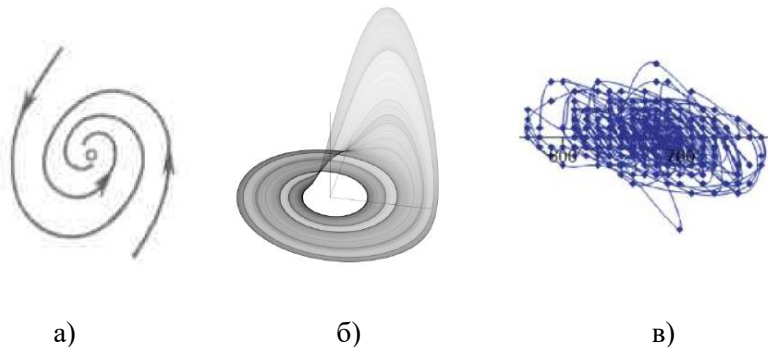


Рис. 1.1. Приклади атракторів:  
а) регулярний атрактор «стійкий фокус»;  
б) дивний атрактор Ресслера; в) квазіатрактор

Аналіз фазового портрета набуває все більшої популярності як якісний метод аналізу складних систем. Все частіше його застосовують в медичних дослідженнях. Так у роботах [64, с. 48], [70, с. 48], [63, с. 48], [45, с. 10048], [61, с. 40], [62, с. 55], [130, с. 38], [131, с. 15] описано застосування аналізу квазіатрактора для діагностики фізичного стану людини. Людина може служити яскравим прикладом біофізичної НДС із функцією саморегуляції з  $n$  числом ДЗ.

Важливою властивістю ієрархічних, саморегулюючих біологічних динамічних систем, в тому числі й людини, є збереження динамічно стійкого гомеостазу для забезпечення стійкості організму до факторів зовнішнього середовища та спрямованого на підтримку всіх життєвих функцій організму, як в нормі, так і при патології [61, с. 39].

У [64, с. 48] виконано аналіз параметрів квазіатрактора вектору стану організму людини (ВСО). Протягом тижня, цілодобово, виконувалися обстеження 73 машиністів залізничного транспорту. Дослідження проводилися стандартними методами варіаційної пульсометрії із визначенням частоти серцевих скорочень, індексу Баєвського, ступеню насичення гемоглобіну киснем і спектральними характеристиками серцевого ритму й ін. – усього 11 параметрів (ДЗ). Індекс Баєвського (вегетативний індекс або індекс напруги) – це параметр, що показує, вегетативна нервова система якого типу переважає у людини: симпатична або парасимпатична. Розраховується за електрокардіограмою за допомогою спеціальної формули [45, с. 49].

Зауважимо, що значення одних ДЗ були визначені прямим вимірюванням, а інших – непрямим. За результатами вимірювання та розрахунку ДЗ склалися 11-мірні ВСО із компонентами  $[X_1(t), \dots, X_{11}(t)]$ , які формують в фазовому просторі портрет, у даному випадку – квазіатрактор. Дослідження параметрів атракторів динаміки поведінки ВСО здійснювалися за допомогою методу, який дозволяє визначити об'єм  $n$ -мірного квазіатрактора  $V_A$  та координати його геометричного центру  $X_{ic}$ , також обчислювалося відстань між хаотичним  $X_{ic}^h$  і стохастичним  $X_{ic}^s$  центрами фазового портрета (показник асиметрії)  $\Delta R(X)$  за формулою: