



Тема 1. Системологія

"... Якщо ви захочете, щоб дерево приносило більше плодів, ніж раніше, вам не потрібно нічого робити з його гілками, а потрібно розпушити землю та підкласти новий ґрунт під коріння."

Ф.Бекон

Вступ
Системність світу
Розвиток системних уявлень



Bacon, Francis (1561–1626).

Метою навчальної дисципліни є розвиток системно-кібернетичного мислення, формування у здобувачів вищої освіти здатності розв'язувати комплексні проблеми комп'ютерних наук і виконувати оригінальні дослідження на основі системного наукового світогляду та міждисциплінарних підходів.

Знання та практичний досвід, набуті в процесі вивчення дисципліни, дозволять розширити можливості аспірантів при засвоєнні спеціальних дисциплін, виконанні творчих індивідуальних завдань, проведення наукових досліджень, підготовки і написання дисертації, а також в процесі подальшої наукової та освітньої діяльності.

Завданнями навчальної дисципліни є:

- оволодіння комплексом знань та умінь пов'язаних з формуванням у аспірантів системно-кібернетичного мислення, розкриття сучасних міждисциплінарних підходів;
- осмислення інтеграції системології і кібернетики, як основи міждисциплінарного підходу в науці;
- опанування інструментарієм інформаційного опису та оцінювання процесів в складних системах на основі теорії інформації та інструментарію апроксимації даних;
- засвоєння методології дослідження процесу прийняття рішень (управління) в складних системах;
- вивчення підходів до пошуку оптимальних рішень в однокритеріальних та багатокритеріальних задачах прийняття рішень.

4. Структура (тематичний план) навчальної дисципліни

Змістові модулі і теми	Кількість годин							
	денна форма				заочна форма			
	усього	лекції	практичні	самостійна робота	усього	лекції	практичні	самостійна робота
МОДУЛЬ 1								
Змістовий модуль 1. Теорія систем								
Тема 1. Системологія	12	2	4	6				
Тема 2. Метод системного аналізу	16	2	4	10				
<i>Разом за змістовий модуль 1</i>	28	4	8	16				
Змістовий модуль 2. Теорія інформації								
Тема 3. Природа інформації. Якісна та кількісна оцінка інформації	16	2	4	10				
Тема 4. Інформаційні характеристики каналу зв'язку	15	2	3	10				
Модульний контроль 1	1	-	1					
<i>Разом за змістовий модуль 2</i>	32	4	8	20				
Змістовий модуль 3. Теорія апроксимації								
Тема 5. Апроксимація: цілі, задачі, методи, технології	16	2	4	10				
Тема 6. Оцінювання процесів в складних системах	16	2	4	10				
<i>Разом за змістовий модуль 3</i>	32	4	8	20				
Змістовий модуль 4. Теорія рішень. Кібернетика								
Тема 7. Кібернетика і методологія теоретичного дослідження процесів управління в системах	12	2	4	6				
Тема 8. Методи і моделі пошуку оптимальних рішень	15	2	3	10				
Модульний контроль 2	1	-	1	-				
<i>Разом за змістовий модуль 4</i>	28	4	8	16				
ВСЬОГО	120	16	32	72				

- 1. Системність світу
- 2. Розвиток системних уявлень



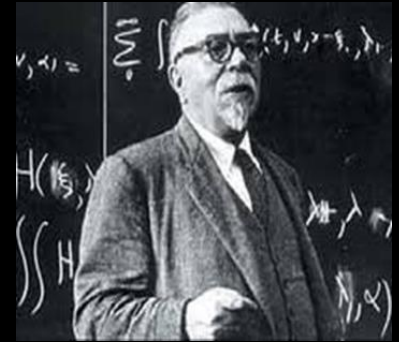
Людвиг Бергаланфи



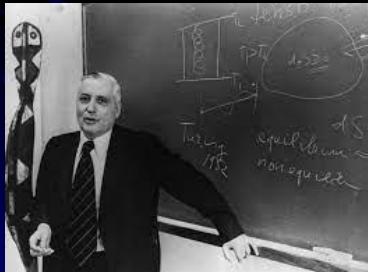
Александр Богданов



У. Р. Ешбі
метод «Чорного ящика»



Норберт Вінер



Ілля Пригожин

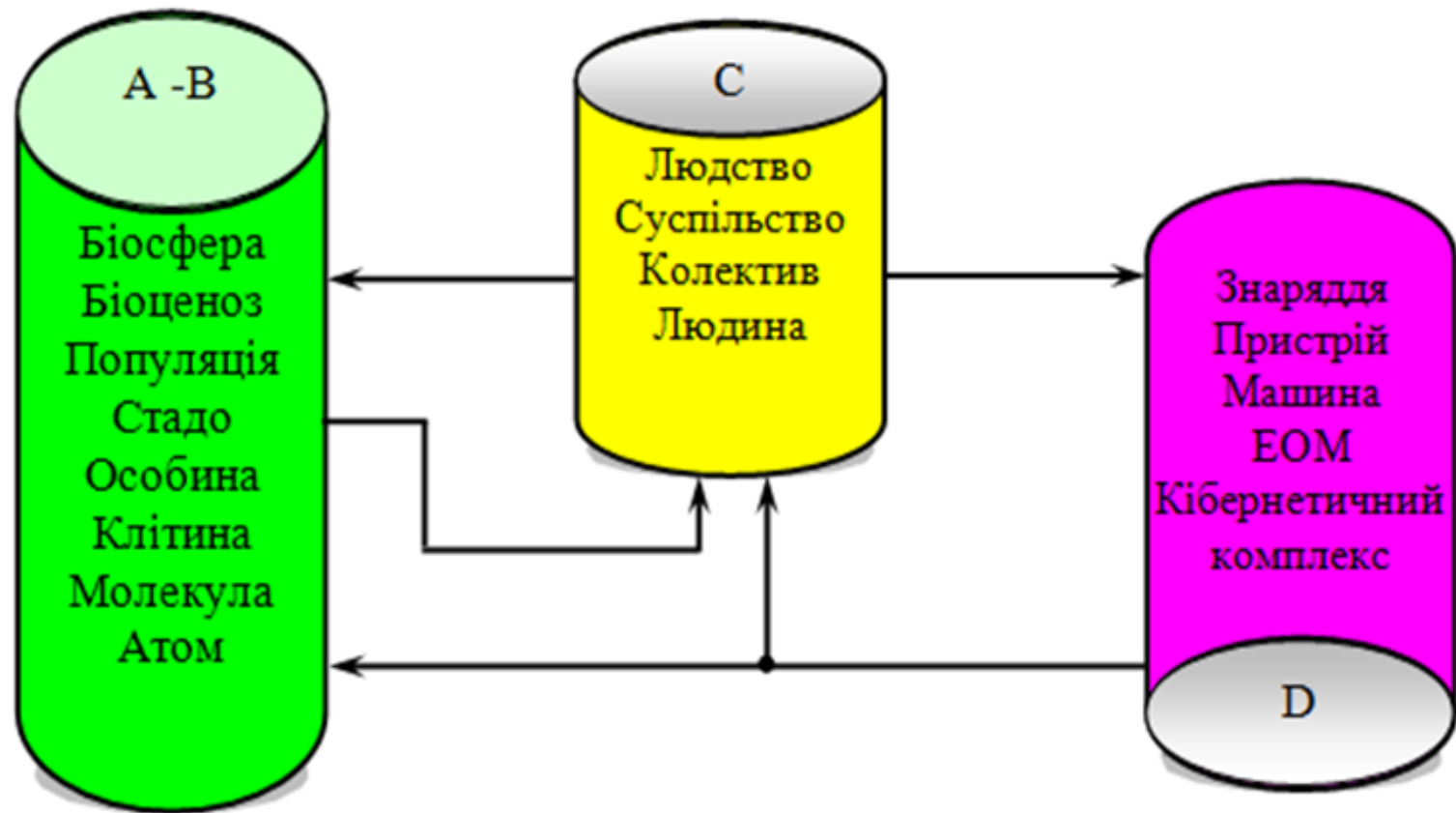
Суттєвий внесок у розвиток системності в науці, виробництві, суспільстві належить великій кількості наукових груп, центрів, вчених: Н. Вінер, У. Р. Ешбі, Ст. Бір, академіки А. Н. Колмогоров, В. М. Глушков, Н. Н. Моїсєєв, група інституту Кейтса (США) під керівництвом М. Месаровича, школа Іллі Пригожина (Бельгія), тектологія О. Богданова, і цей список можна ще продовжувати

1. Системність світу

- Проблема взаємодії людини і Природи в епоху стрімкого зростання енергетичних можливостей людини, які почали перевищувати енергію процесів природного походження, вимагає глибокого розуміння поняття системності . Дійсно, проблема економіки, соціального розвитку, політики виявляються зв'язаними в єдине ціле з проблемою стабільності біоти, еволюцією клімату, забрудненням середовища, виявленням нових ресурсів сировини, створенням нових технологій тощо. Тому, вивчення цих проблем вимагає розвитку системології та застосування системного аналізу для їх використання в сучасних умовах життєдіяльності людини.
- Системність існувала завжди (незалежно від нас), як загальна властивість матерії, форма її існування, як об'єктивна реальність.
- Поняття системності виникло разом з людиною і завжди було і є одним з методів науки
- Системність світу базується на трьох основних компонентах
- (системах), або ієрархіях :



ієрархії (системи), які виникли природно:
фізико – біологічна (А – В) та соціальна (С);
штучна ієрархія (система): технічна (D)



Отже, однією з найважливіших об'єктивних причин виникнення системних наук є не тільки системність людини, її мислення, а й системність навколишнього середовища і всесвіту в цілому.

2. Розвиток системних уявлень

В процесі розвитку науки можна виділити декілька періодів, які визначаються своїми підходами, методологією, методами дослідження :

Античний період

Період епохи відродження

Період сучасного системного підходу

Античний період науки характеризується абстрактним підходом, відірваним від експериментальної практики, а також використанням категорії "цілі". Всі знання ґрунтувались на емпіризмі та умоглядних аналогіях, які були основою наукової аргументації того часу.

Період епохи відродження. В XVII ст. природознавчий підхід замінив умоглядність античної науки. Ньютон поєднав експериментальні методи з новим математичним методом аналізу нескінченно малих. Для цього періоду з його методологією *фізикалізму* характерно поєднання експериментального та умоглядного (математичного) підходів, "вилучення" категорії "цілі", зведення вивчення цілого до вивчення його частин. Ця методологія (фізикалізму) виявилася дуже плідною при вивченні речовинно-енергетичних властивостей простих систем, але для складних систем, де визначальними є структурно-поведінкові властивості, вона не дала результатів.

Сучасний системний підхід визначає третій період розвитку науки (початок XX ст.). Він виник із потреби вивчення і наукового осмислення складних систем різної природи. Об'єкт дослідження тут вимагає цілісного розглядання його частин, відмови від неможливого класичного експерименту над ним і, відповідно, "відновлення" категорії цілі, що поєднує сучасний період з античною методологією (наївною системологією) Це *період осмислення кібернетикою свого предмету дослідження – складної системи*, тому кібернетика може бути ототожнена з системологією – теорією складних систем .

Отже, **новий системний період розвитку науки**, на відміну від ньютонівського, **характеризується** не диференціацією, а **інтеграцією науки**, що також зближує його з єдиною античною наукою періоду наївної системології. Крім того, ідейна близькість основних методів дослідження в обох напрямках також поєднує сучасну та наївну системологію. Сьогодні фізикалізм і системологія використовуються як дві різні методології дослідження простих і складних систем відповідно.



З пропозиції Людвіга фон Берталанфі у 30 рр. XX ст. виникла *концепція загальної теорії систем*. Системний підхід розглядається як універсальний метод, що об'єднує інтереси різноманітних наук: кібернетики, теорії інформації, теорії прийняття рішень, топології, факторного аналізу, автоматів, масового обслуговування, графів та мереж, дослідження операцій.



Людвіг Берталанфі

ОСНОВНІ ТЕНДЕНЦІЇ В РОЗВИТКУ ТЕОРІЇ СИСТЕМ

- **наука про системи**, досліджує застосування системних концепцій у природних (фізичних) та суспільних науках. Увага зосереджується на науковому вивченні цілісного на противагу поелементного, оцінюванні способів взаємодії між компонентами системи, широкого використання методів математичного моделювання для визначення ізоморфізму в системах;
- **системна технологія**, призначена для розв'язку проблем з використанням методології системного підходу і сьогодні використовується в системному аналізі, в управлінні, інженерії різного напрямку та ін.;
- **системна філософія**, намагається об'єднати традиційні науки різних галузей і знань в рамки філософських концепцій системності.

Одним з основних досягнень Людвіга фон Берталанфі є введення поняття відкритої системи

Він підкреслював особливе значення обміну системи речовиною, енергією та інформацією з зовнішнім середовищем (іншими системами). У відкритих системах встановлюється динамічна рівновага, яка може бути спрямована у бік ускладнення організації (за рахунок інформації ззовні), а функціонування є не просто відгуком на зміну зовнішніх умов, але й збереженням попередньої чи встановленням нової рухливої внутрішньої рівноваги системи.

системна термінологія

система – це внутрішньо організована сукупність взаємозв'язаних елементів, що утворює єдине ціле і спільно діє для досягнення поставленої мети

- Суть **системних досліджень** полягає:
- у використанні фундаментального методологічного поняття системи як єдиного абстрактного зображення об'єктів будь-якої природи і степені складності;
- у виділенні провідних, визначаючих сторін, тенденцій розвитку системи;
- у поданні проблеми як своєрідної концептуальної системи.
- **Системний підхід** – це метод, при якому всі зв'язки, елементи, функції та проблеми розглядаються у вигляді взаємозв'язаного цілого.
 - **Задачею** системного підходу є вираження на рівні спеціальної методології загальнонаукових принципів, положень, понять, форм та методів системних досліджень, відповідно до яких кожен об'єкт, поданий як система, розглядається не тільки як деяке самостійне ціле, а також як частина системи більш вищого рівня складності (макросистеми).

Загальна теорія систем виступає як інтегральна теорія, предметом якої є закони утворення, поведінки та розвитку будь-яких систем з усією багатостатністю аспектів їх функціонування.

Загальна теорія систем пропонує єдиний абстрактно - математичний апарат для дослідження систем різних типів, класів та призначення – біологічних, економічних, соціальних і т. п.

За допомогою цієї теорії вивчаються не окремі, частинні властивості систем (що складає предмет інших конкретних наук), а їх загальна структурна побудова.

Основою для створення теорії систем є аналогії (ізоморфізм, подібність) процесів, в системах різного типу. Доведений ізоморфізм для систем різної природи дає можливість будувати узагальнені моделі систем та переносити знання із одної предметної області в іншу. Приклад: **Універсальна динамічна модель системи**
(Бродський Ю.Б., Тимонін Ю.О., Грабар І.Г.)

$$a_L \frac{d^2 X(t)}{dt^2} + \left(a_R + \frac{1}{X(t)} \right) \frac{dX(t)}{dt} + \frac{1}{a_C} X(t) - \varphi_0 - \frac{1}{X(t)} \frac{dV}{dt} = 0$$

- В теорії систем виділяють поняття складної системи.
- Теорію складних систем називають системологією, яку сьогодні ототожнюють з кібернетикою. Поняття складної системи стало єдиною концептуальною основою сучасної кібернетики.
- Отже, *системологію* можна визначити, як науку про загальні властивості розвитку складних систем.
- Метою *системології* є створення та вивчення найбільш загальних способів опису, законів функціонування та методів аналізу і синтезу складних систем незалежно від їх фізичної природи.
 - В *системології* розвиваються: теорія абстрактних описів і математичного моделювання систем, загальна теорія системних досліджень на базі математичних та евристичних методів.

Складовою системології, яка займається технічними системами, є **системотехніка** – це область наукових знань, яка містить теорію, методологію та дослідження і створення складних технічних систем, здібних до цілеспрямованих дій в складних ситуаціях.

До задач системотехніки відносять: визначення загальної структури технічної системи; організацію взаємодії між підсистемами та елементами; врахування оптимальної структури, параметрів та алгоритмів функціонування систем; синтез складних технічних систем.

Термін "системотехніка" спочатку використовувався у зв'язку з розв'язуванням задач проектування. Однак, сьогодні – це науковий напрямок, що охоплює не тільки проектування, але й створення, випробування та експлуатацію складних технічних систем.

Якщо системний підхід – це деякий загально методологічний принцип системних досліджень, то системний аналіз – це технологія системного підходу.

Системний аналіз – це спосіб вивчення складних об'єктів з метою дослідження впливу зв'язків елементів і підсистем на властивості об'єкту в цілому.

Предметом системного аналізу є методологія, яка призначена для вирішення проблем (розв'язування задач) на основі різного наукового інструментарію.

Системний аналіз базується на загальній теорії систем та системології, і відіграє роль інструмента системного підходу.

Системний підхід до аналізу складних систем

Особливості системного підходу, як методологічної концепції в дослідженні явищ навколишнього світу, можна виділити так:

1) при дослідженні об'єкта як системи, опис його елементів не є визначаючим, оскільки кожен з елементів представляється не як ізольований, а з урахуванням його "місця" в цілому;

2) дослідження об'єкта як системи є невід'ємним від дослідження його взаємозв'язків із зовнішнім середовищем, оскільки, об'єкт вивчається як підсистема більшої системи, яка виникла поєднанням об'єкта з середовищем;

3) специфічною особливістю є врахування нових властивостей, які виникають при поєднанні елементів у систему (емерджентність).

Основні принципи системного підходу

- **принцип системності** – розглядання об'єктів дослідження як систем;
- **принцип кінцевої цілі (мети)**: абсолютний пріоритет кінцевої (глобальної) цілі (мети), тобто всі процеси в системі підпорядковані глобальній цілі (головному призначенню), що накладає особисту відповідальність на вибір цілі та її трактування. Не повністю визначені кінцеві цілі або не однозначне їх трактування ушкоджує структуру та процеси в системі і взагалі управління системою;
- **принцип ієрархічності пізнання**, який потребує трирівневого вивчення об'єкта: вивчення самого об'єкта – „власний” рівень; вивчення об'єкта як елемента більшої системи – „зовнішній” рівень та вивчення об'єкта у відношенні з його складовими – „нижній” рівень;
- **принцип інтеграції**: відображається саме та особливість системного підходу, яка спрямована на вивчення інтегративних властивостей і закономірностей системи, розкриття базисних механізмів інтеграції цілого;
- **принцип функціональності**: сумісний розгляд структури й функцій з пріоритетом функцій над структурою. Цей принцип стверджує, що будь-яка структура тісно зв'язана з функціями системи та її елементів, тому досліджувати та створювати структуру необхідно після з'ясування (розуміння, точно визначення) функцій в системі. Зокрема, на практиці принцип функціональності означає те, що у випадку додавання системі нових функцій доцільно буде переглянути її структуру, а не намагатись впровадити нову функцію в стару схему.

аспекти системного підходу

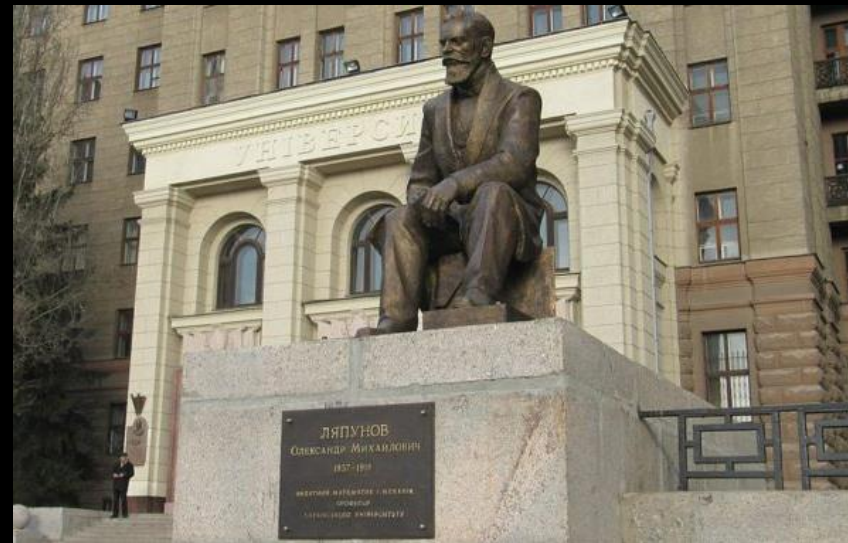
- Системно – історичний: розглядання процесу виникнення системи, її розвитку (еволюції), передбачення історичної перспективи.
- Системно – компонентний: вивчення елементного складу системи, тобто із яких компонентів утворено ціле (система).
- Системно – структурний: вивчення внутрішньої організації системи, способів взаємодії елементів та підсистем, типів між елементних зв'язків системи. Структура системи відіграє велику роль. Вона зв'язує компоненти системи, що надає їй цілісність та виникнення нових властивостей, які не має жоден компонент. Для збереження системи особливого значення набуває стійкість структури, яка визначається стійкістю зв'язків її компонентів.
- Системно – функціональний: зв'язки з вивченням поведінки окремих частин системи та функціонування системи в цілому. Кожна реальна система виконує певні функції, які представляють деякий інтегративний результат функціонування її компонентів. Функції компонентів відносно системи несе доцільний (цільовий) характер, інакше компонент випадає із системи. Функції компонентів узгоджені за часом і в просторі і часто являються результатом впливу загальносистемних функцій.
- Системно – комунікаційний: розглядає взаємозв'язки системи з іншими об'єктами, явищами, системами.
- Системно – інтегративний: вивчає фактори збереження, досконалості та розвитку системи, тобто механізми які забезпечують збереження якісної специфіки системи.

Отже: Всебічне дослідження системи, процесу або проблеми може бути забезпечено тільки сукупним використанням всіх аспектів системного підходу



Елементи теорії стійкості систем

Олексáндр Михáйлович Ляпуно́в (25 травня (6 червня) 1857 — 3 листопада 1918) — математик і механік, академік Петербурзької Академії наук (1901 рік), іноземний член-кореспондент Паризької Академії наук (1916 рік), член Римської академії наук, почесний член Петербурзького, Харківського і Казанського університетів, Харківського математичного товариства. Учень П. Л. Чебишова. З 1885 по 1902 рік — завідувач кафедри механіки Харківського університету.



Поняття стійкості як здатність будь-якого об'єкта чинити опір зовнішнім впливам, з'явилося ще в античній науці. Але основи строгої математичної теорії стійкості були закладені на початку XX ст. в працях відомого математика, академіка О. М. Ляпунова (1857–1918 рр.).

Стійкість є однією з найважливіших характеристик будь-якої системи. Ця категорія використовується науковцями в різних областях науки, пов'язаних з дослідженням складних систем. Розвиток складних систем супроводжується змінами у структурі, поведінці, режимах функціонування. Такі зміни можуть накопичуватись повільно, швидко, лавиноподібно, або стрибком, миттєво.

Динаміка складних систем завжди супроводжується втратою стійкості і виникненням *біфуркації*, яка визначає перехід системи до відмінної від попередньої лінії поведінки (режиму функціонування чи нового стану).

Результатом біфуркації системи може стати як перехід системи до нового стійкого стану, так і руйнування системи – катастрофа.

Формалізація розглянутих процесів знайшла своє відображення в математичній теорії стійкості. Тому аналіз стійкості функціонування складної динамічної системи є важливим з практичної точки зору.

Система вважається стійкою, якщо деякі невеликі варіації умов її функціонування (вплив збурюючих факторів або зміна початкового стану) суттєво не впливають на її поведінку.

Для характеристики стійкості системи необхідно показати, що:

- всі змінні стану залишаються обмеженими (стійкість за Ляпуновим);
- а також визначити, що обмеженим входам при нульовому початковому стані відповідають обмежені виходи.

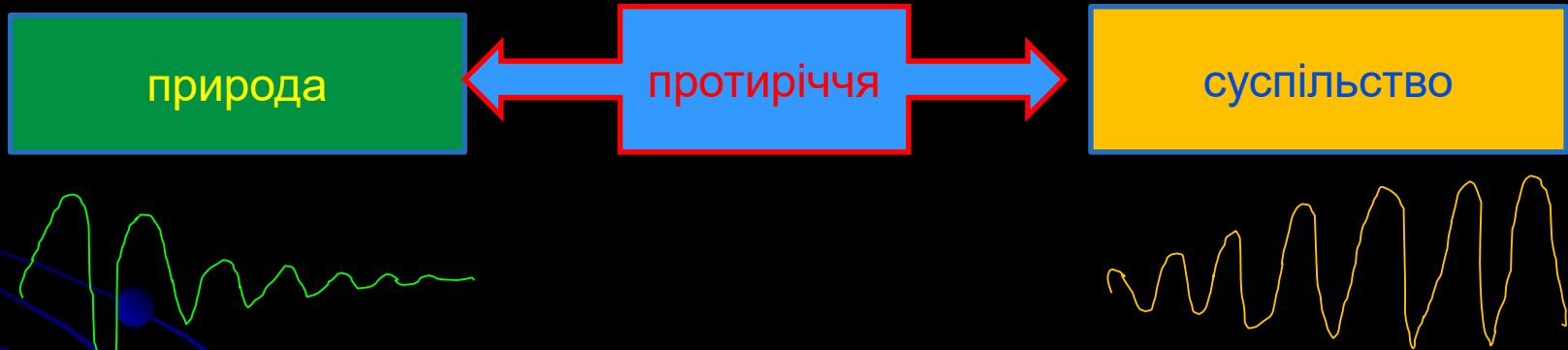
Формалізація системи як математичної моделі з достатньою повнотою опису об'єкта в термінах диференціальних або різницевих рівнянь дозволяє виконати оцінку її стійкості.

Отже, теорія стійкості гласить: **система є стійкою, якщо її траєкторія у фазовому просторі залишається в заданих границях при деяких кінцевих збуреннях достатньо широкого спектру.**

Поняття стійкості системи пов'язане з поняттям рівноваги – це стан системи, до якого прагне наблизитися система. *Стан рівноваги* забезпечує високу ефективність досягнення основної мети і цілей розвитку.

наприклад

Поряд з прогресивним розвитком сучасного суспільства спостерігається загострення проблеми екологічної безпеки: будь-яка цивілізація прагне досягнути максимального розквіту всупереч природному середовищу, яке завжди намагається повернутись до стабільного стану. Виникає протиріччя «цілей» людини і природи. Тому, згідно закону необхідного різноманіття У.Р.Ешбі (Вінера-Ешбі), підвищити ефективність управління в системі «природа – суспільство» можна двома шляхами: перший – зменшити різноманіття об'єкта керування (навколишнього природного середовища), або збільшити різноманіття керуючої системи – суспільства (моральність, культуру, відповідальність, інтелект людини).



Таким чином, функціонування динамічної системи називають стійким, якщо невеликі збурення згасають у часі, наближаючись до нуля. І, навпаки, якщо відхилення не тільки не згасають, а нарощуються у часі, система переходить у нестійкий стан.