

## ТЕОРІЯ ХАОСУ

Теорія хаосу досліджує системи, динаміка яких залежить від початкових умов, що робить довгострокове прогнозування складним. Динаміка поведінки таких систем відповідає законам фізики та виглядає нерегулярною і називається детермінованим хаосом. Детермінований хаос – хаотична поведінка детерміністичної системи, яка проявляється через надзвичайно високу чутливість до початкових умов. Явище детермінованого хаосу неодноразово спостерігалось як в лабораторних умовах (в плазмі, електричних колах, лазерах, хімічних реакціях, рідинах, в низці механічних пристроїв) так і в природі (динаміка зростання популяцій та метеорологічні явища). Детермінований хаос виникає тоді, коли результати еволюції, що починаються із нескінченно малого околу певної початкової точки, покривають скінченну область у фазовому просторі, тобто коли незначне відхилення у початкових умовах призводить до значного відхилення в кінцевій точці.

Найпростішою неперервною системою, в якій спостерігається детермінований хаос, є дивний атрактор Лоренца.

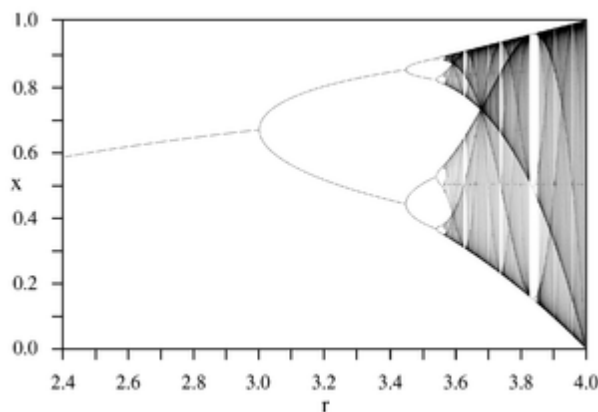


Рис. 1. Дивний атрактор Лоренца

Хаос – детермінована нелінійна динамічна система, що може продукувати результати, які здаються випадковими. Хаотична система повинна мати фрактальну розмірність і виявляти чутливу залежність від початкових умов. Хаос є характерною рисою детермінованих динамічних систем. Складність полягає в тому, що ніхто не може мати всеосяжної інформації про ці початкові умови. Турбулентність розвитку фінансового ринку може здатися випадковою, але передумови її виникнення були закладені раніше. Питання полягає лише в тому, чи були відомі передумови турбулентності.

Нова наука про хаос визначається чіткими ключовими принципами:

- теорія хаосу додається до динамічних систем - систем з великою кількістю рухомих компонентів;
- всередині цих систем існує неперіодичний порядок, за зовнішнім виглядом безладна сукупність даних може піддаватись впорядкуванню в разові моделі;
- подібні "хаотичні" системи показують тонку залежність від початкових умов; невеликі зміни будь-яких умов на вході призведуть до дивергентних диспропорцій на виході.
- той факт, що існує порядок, допускає, що моделі можуть бути розраховані щонайменше для слабших хаотичних систем.

Насправді теорія хаосу – лише одна з наук про складність, так як хаотичні системи - це всього одна з різновидів складних систем. Існують і інші науки про складність: фрактальна геометрія, теорія катастроф, нечітка логіка та інші. Кажуть, що описати клас систем, що вивчаються в теорії хаосу, складно, тому що вони знаходяться на півдорозі між порядком і безладом, немов між двох вогнів. Якщо вкрай впорядковані системи (наприклад, кришталь) або дуже невпорядковані системи (наприклад, дим) прості і описати їх нескладно, то описати проміжні системи найскладніше. Зокрема, хаотичні системи – це нелінійні детерміновані системи, що володіють неперіодичною поведінкою, в силу якої вони стають непередбачуваними. Згідно китайського прислів'я, помах крил метелика можна відчутти на іншій стороні Землі. Геометрична сутність хаосу полягає в розтягуванні і подальшому складанні траєкторій.

Історія появи теорії хаосу показує нам дві структурні характеристики, пов'язані з хаосом і пояснюють його непередбачуваність. По-перше, хаотичні системи вкрай чутливі до початкових умов (це показали Пуанкаре і Лоренц), по-друге, траєкторії в хаотичних системах, розтягуючись і складаючись навпіл, переплітаються між собою (Пуанкаре, Смейл).

В останні роки теорія хаосу, нелінійна динаміка і науки про складність в цілому грають важливу роль в медицині, біології і суміжних областях. Злиття точних і гуманітарних наук за все за кілька років довело свою ефективність. До середини ХХ століття медицину і фізику, здавалося, розділяла непереборна стіна: єдиним застосуванням фізики в медицині стало використання радіохвиль для діагностики і лікування ракових захворювань. Однак починаючи з 1950-

х років в цій стіні стали виникати проломи: так, медична візуалізація і отримання зображень внутрішніх органів стали можливими тільки завдяки симбіозу математики, фізики та медицини.

Теорія хаосу також перестала бути наукою про абстрактні закономірності і в руках фахівців перетворилася на потужний інструмент. Застосування теорії хаосу в медицині не дозволяє робити прогнози і вирішувати будь-які приватні завдання – воно скоріше дозволяє описувати деякі аспекти поведінки складних біологічних систем за допомогою певних «магічних чисел», наприклад експонент Ляпунова, фрактальних розмірностей та інших. Іншими словами, теорія хаосу може використовуватися при класифікації станів організму, найбільш цінним при цьому буде не отримане числове значення, а переформулювання медичних завдань, перехід від спостережень до моделювання та вимірювань. Прекрасним прикладом цього служать кардіологія, електроенцефалографія і магнітоенцефалографія. Через кілька років дослідження хаосу і фракталів в фізіології допоможуть отримати важливі показники, що дозволяють зрозуміти, що саме відбувається в організмі під час старіння або під час хвороби. Найважливіше відкриття таке: організм здорової людини – складна хаотична система, організм хворої людини, навпаки, є строго впорядкованим.

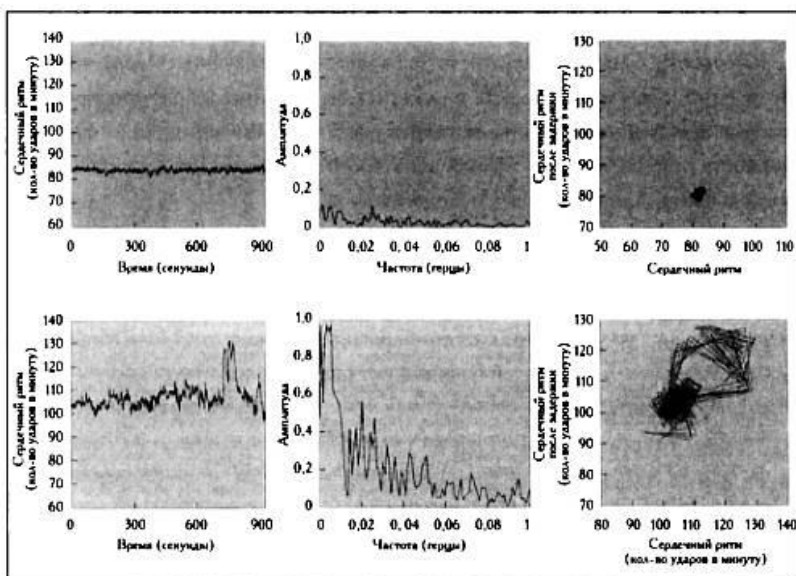


Рис. 2. Різні показники роботи серця хворого (у верхньому ряду) і здорової людини (в нижньому ряду).

Періодичність і передбачуваність цих показників свідчить про серцеві захворювання, в той час як у здорової людини показники будуть абсолютно хаотичними. Теорія хаосу застосовується в багатьох наукових дисциплінах: математика, біологія, інформатика, економіка, інженерія, фінанси, філософія, фізика, політика, психологія та робототехніка. Одне з найуспішніших застосувань теорії хаосу було в екології, коли динамічні системи, схожі на модель Рікера, використовувалися, щоб показати залежність приросту населення від його щільності. В даний час теорія хаосу також застосовується в медицині при вивченні епілепсії для прогнозування нападів, враховуючи первісний стан організму.