

І. С. Добронравова

Синергетика

СИНЕРГЕТИКА (від грец. *συνεργία* — сумісна дія) — напрям, загальнонаукова міждисциплінарна програма дослідження процесів *самоорганізації*. Йдеться про сумісну дію елементів середовища, що знаходиться у надто нерівноважному стані (з великим перепадом температур, тисків, висот, настроїв). Узгоджений рух елементів, що виникає при критичних значеннях таких різниць, створює кооперативний ефект становлення нового цілого, більш чи менш стійкого. Це завжди динамічна стійкість, тобто ціле створює собі частини з елементів середовища та існує як єдність їх багатоманітності в процесі свого розгортання та відтворення. Новий порядок виникає з попереднього хаосу і є великомасштабною флуктуацією (відхиленням) по відношенню до середніх значень, характерних для того хаотичного стану, і може бути описаний параметром порядку. Порядок цей далекосяжний, тобто масштаби нового цілого значно перевищують розміри елементів середовища (наприклад, коли порівняти розміри молекул води та розміри хвилі цунамі). Давно відомі явища, такі як те ж цунамі, або язика полум'я нині зрозумілі як феномени самоорганізації: відповідно, як усамітнена хвиля (солітон) та теплові структури в плазмі. Багато що в розумінні живого та соціального також набуло свого наукового пояснення на основі синергетичних моделей самоорганізації як становлення нового цілого, що природно, оскільки такі діалектичні риси, як цілісність та здатність до становлення й розвитку притаманні цим сферам буття. Математично процеси самоорганізації описують нелінійні рівняння, що мають кілька розв'язків (принаймні два). Точки розгалуження на графічному зображенні таких розв'язків називають особливими точками. У випадку роздвоєння це т. зв. точки [біфуркації](#). Синергетичні моделі самоорганізації вперше створені у фізиці та хімії, їх застосовують нині в біології, соціальних та гуманітарних науках, хоча й не завжди у математично оформленому вигляді.

Термін «С.» увів німецький фізик Г. Хакен, який описав формування лазерного монохроматичного випромінювання як процес самоорганізації, тобто когерентного (узгодженого, кооперативного) руху елементів середовища до стійкого атрактору (в даному випадку фокусу, а взагалі атрактор — це множина значень, до якої розгортається нелінійна динаміка). Для становлення С. велике значення мало створення нерівноважної термодинаміки бельгійським фізиком-хіміком, лауреатом Нобелівської премії, іноземним

членом НАНУ *І. Пригожиним*. Варто зазначити, що він використовував поняття «самоорганізація», але не вживав термін «С.», як і багато інших вчених, що працювали в галузі нелінійної динаміки. Теорії динамічного хаосу і фракталів (самоподібних структур, що можуть утворюватися у середовищі динамічного хаосу в полі конкуренції атракторів) також не завжди залучають до сфери застосування терміна «С.», хоча перехід параметрів порядку до хаотичної поведінки є продовженням самоорганізації, і тому динамічний хаос може бути розглянутий як предмет С. у широкому сенсі цього слова. Правда, іноді позначення «С.» використовують лише для опису самоорганізації стійких структур.

Здобутки математики та математичної фізики різних років використовували як математичний апарат і зразки розв'язку задач при створенні синергетичних моделей самоорганізації. Для розроблення загальної динамічної теорії нелінійних коливань чимало зробили вчені [Л. Мандельштам](#), [М. Крилов](#), [М. Боголюбов](#), Л. Понтрягін та ін. Французький вчений А. Пуанкаре на початку 20 ст. розв'язав обчислювальними методами певні нелінійні рівняння. Однак оскільки такі методи є наближеними і вимагають уточнення шляхом великої кількості повторних операцій (ітерацій), саме комп'ютерна революція надала можливість широкого застосування обчислювальних методів для розв'язку нелінійних задач, а також візуалізації за рахунок комп'ютерної симуляції нелінійної динаміки природних і штучних процесів самоорганізації. *І. Пригожин* використовував поняття «дисипативна структура» для позначення самоорганізованих структур, що утворюються у далеких від рівноваги відкритих середовищах та існують за рахунок дисипації (розсіяння) енергії, речовини чи інформації, яку отримують із середовища. При цьому ентропія локально зменшується у самоорганізованій структурі, а вироблена ентропія віддається середовищу, і таким чином утримується новий порядок. *І. Пригожин*, зокрема, розробив в галузі хімічної кінетики математичну модель бруселятора, що наближено відображала т. зв. хімічний годинник (періодичні коливання в реакції Білоусова—Жаботинського). Синергетичні моделі використовували в теорії теплових структур у плазмі (*С. Курдюмов*, *Г. Малінецький*), біофізиці для пояснення морфогенезу (*Д. Чернавський* та ін.), квантовій фізиці живого (*С. Сітько*). Також синергетичні ідеї та моделі працюють у соціальній та гуманітарній сферах: на цей час вже створені соціо-синергетика ([Л. Бевзенко](#)) і психо-синергетика ([І. Єршова-Бабенко](#)). Часто синергетичну парадигму застосовують в економіці, соціології, літературознавстві, мистецтвознавстві, проте не завжди при цьому прокламують створення нових дисциплін із власними назвами.

Зі створенням нерівноважної термодинаміки з'явилася можливість побудови загальнонаукової картини світу. Після Дарвіна у біології утвердилися еволюційні ідеї, тобто рух до більшої впорядкованості. У фізиці ж тоді природним вважався рух до меншої впорядкованості, тобто зростання ентропії. І лише з появою нерівноважної термодинаміки, що описує процеси у відкритих далеких від рівноваги системах, де природним є локальне зменшення ентропії, тобто спонтанне збільшення впорядкованості, ствердився єдиний

еволюційний науковий погляд на світ як на самоорганізовану систему. При цьому класична термодинаміка не відмінюється, а знаходить межі свого застосування для близьких до рівноваги замкнутих систем, що є ідеалізацією. В реальності ж, на опис якої претендує наукова картина світу, врахування тенденції до зростання ентропії забезпечується тим, що при самоорганізації вироблена ентропія передається середовищу, а отже там ентропія збільшується. Характерно, що за відсутності самоорганізації ентропії виробляється менше, тобто за самоорганізацію, збільшення порядку, передбачена ентропійна плата. Земля отримує від Сонця електромагнітне випромінення з низькою ентропією, а віддає у космічний простір теплове випромінення з високою ентропією. За рахунок цієї різниці й існує все життя на нашій планеті. Ось чому чиста прозора атмосфера є запорукою можливості отримувати низько-ентропійне електромагнітне випромінення, віддавати високоентропійну теплову енергію у навколосемний простір. Крім тенденції до зростання складності, ще одна нова риса нелінійної синергетичної картини світу — це темпоральність. Попередні фізичні картини світу виходили зі стійкості: у механістичній картині світу то була стійкість тіл відліку і мірних лінійок, у квантово-релятивістській — стійкість квантово-механічних систем (ядер, атомів, молекул). Це відповідало лінійності цих картин світу, оскільки лінійні закони описують зворотні в часі процеси. Проблемою для лінійної науки був опис незворотності та нестійкості, тобто те, що характерне для темпоральності («стріли» часу). Нелінійні закони теоретично відтворюють незворотність описуваних ними процесів, оскільки минуле й майбутнє у них розрізняються. Це наочно видно на графіках розв'язку нелінійних задач, де є точки розгалуження варіантів перебігу нелінійної динаміки (зокрема точки біфуркації), й історичний вибір системою одного з варіантів є незворотнім. Вихідною рисою в цій картині світу є нестійкість, процесуальність, а проблемою — стійкість. У нелінійних ситуаціях стійкість завжди перехідна та динамічна. Стійкі атрактори в нелінійних середовищах пов'язані з періодичним рухом (граничні цикли). Також важливою рисою синергетичної картини світу є уявлення про цілісність самоорганізованих структур. Власне, самоорганізація і є становленням нового складного цілого. Цілісність утворених внаслідок самоорганізації систем може мати різну ступінь динамічної стійкості. Так, теплові структури в плазмі є перехідними і невідтворюваними: гра язиків полум'я у вогнищі або збуджений натовп, який рухається як єдине ціле та розпадається (розбігається) при небезпеці чи досягненні загальної мети. Це цілісність — «абсолютний рух становлення» (К. Маркс). Такий відкритий у майбутнє рух, обравши один або декілька варіантів, притаманних нелінійному середовищу атракторів, може призвести до утворення динамічно стійкого цілого як періодично відтворювальної дисипативної структури. У фізиці — це приклади комірок Бенара з упорядкованими конвективними потоками, у хімії — «хімічний годинник» реакції Білоусова—Жаботинського, у біології — живі організми як ієрархія дисипативних структур. Квантово-механічні системи (ядра, атоми, молекули, живі організми з точки зору квантової фізики живого) мають найвищу стійкість і можуть бути охарактеризовані як тотальне ціле. Воно розгортає та зберігає в

собі, як сформулював Г. Геґель, ознаки тотального цілого в «науці логіки», звісно, зовсім з іншого приводу. Імена Г. Геґеля й К. Маркса згадані в цьому контексті не випадково: діалектичні ідеї втілені в методології С. Головна відмінність синертичного погляду на дослідження цілісності в методології нелінійного мислення полягає у відмові від панівного у лінійній науці пояснювального принципу редукції. Пропоноване ним зведення складної системи до її елементів та взаємодії між ними не пояснює, чому молекули води у хвилі цунамі рухаються разом, а поруч зберігають спокій. У С. працює сформульований Г. Гакеном протилежний принципу редукції принцип підлеглості: ціле, що постає, підкорює своєму рухові становлення наявні елементи середовища, створюючи собі з них частини. Це, власне, діалектичний погляд на ціле як на таке, що створює й визначає свої частини, а не складається з них як з чогось готового. Свого часу [М. Злотіна](#), викладаючи діалектику, дотепно зауважувала, що курка не складається з яєць, а розвивається з яйця як розвинене ціле з нерозвиненого цілого. Особливість цього принципу полягає в тому, що умови його застосування визначаються нелінійністю середовища, пов'язаною з нерівноважністю, викликаною перепадом температур, висот, тисків, настроїв залежно від природи середовища та відповідних контрольних параметрів. Так, у хвилю цунамі потрапляють ті маси води, які опинилися в зоні великого тиску, створеної землетрусом. Г. Гакен сформулював ще уявлення про циклічну причиновість, відповідаючи на питання: чи ціле спричиняє когерентний рух елементів, чи їхній когерентний рух визначає появу нового цілого. Це не традиційне розуміння діючої або цільової причини, хіба що матеріальної, оскільки когерентний рух елементів середовища і є нове ціле. Авторка цього допису показала, що діюча причина самоорганізації формується на заснуванні нелінійності під впливом умов, що сприяють вибору одного з можливих варіантів нелінійної динаміки в особливих точках (зокрема точках біфуркації). Сформована причина діє з необхідністю, але це «реальна необхідність, що включає в себе випадковість» (Г. Геґель). Випадковість здійсненого в точці біфуркації вибору визначається рівноймовірністю набору наявних атракторів руху в нелінійному середовищі. Принципова відкритість у точках біфуркації системи, що самоорганізується, пов'язана з надзвичайною чутливістю нелінійного нерівноважного середовища до найменших зовнішніх або внутрішніх впливів. Ця обставина полегшує можливість людських впливів невеликої енергії на перебіг надзвичайно енергетично потужних процесів. Варто згадати ризики викликати сходження лавини випадковим криком за лавинонебезпечної ситуації і можливість спрямувати її безпечним для людей шляхом спеціальними діями. Таким чином синергетично пояснюється свобода людських дій у нелінійній ситуації та людська відповідальність за такі дії й ризики несвідомих дій за відсутності належних знань та вмінь.

Рекомендована література

1. Климонотович Н. Ю. Без формул о синергетике. Минск, 1986;
2. Пригожин И., Стенгерс И. Порядок из хаоса / Пер. с англ. Москва, 1986;

3. Добронравова И. С. Синергетика: становление нелинейного мышления. К., 1990;
4. Пригожин И., Стенгерс И. Время, хаос, квант / Пер. с англ. Москва, 1996;
5. Хакен Г. Основные понятия синергетики / Пер. с нем. // Синергетическая парадигма. Москва, 2000;
6. Бевзенко Л. Д. Социальная самоорганизация. К., 2002;
7. Ситько С. П. Жизнь как четвертый уровень квантовой организации природы // Биомедицинские технологии и радиоэлектроника. 2007. № 1;
8. Кримський С. Б. Запити філософських смислів // Кримський С. Б. Під сигнатурою Софії. К., 2008;
9. Добронравова І. С. Практична філософія науки. С., 2017.

Бібліографічний опис:

Синергетика / І. С. Добронравова // Енциклопедія Сучасної України [Електронний ресурс] / Редкол.: І. М. Дзюба, А. І. Жуковський, М. Г. Железняк [та ін.] ; НАН України, НТШ. – К. : Інститут енциклопедичних досліджень НАН України, 2024. – Режим доступу: <https://esu.com.ua/article-885398>

2001-2025 © Ця енциклопедична стаття захищена авторським правом згідно з чинним законодавством України ([докладніше](#)).