

ОПОЗИЦІЯ ЛІНІЙНОГО І НЕЛІНІЙНОГО МИСЛЕННЯ В МЕТОДОЛОГІЇ СУЧАСНОЇ НАУКИ

Останні десятиріччя в методології науки ознаменувались виникненням та набуттям популярності концепції нелінійності. Основна трудність, з якою зіткнулось наукове співтовариство, це перехід від принципу лінійності в науці до нелінійності. В наш час відношення лінійність-нелінійність має вигляд опозиції, яка набула статус фундаментальної філософської проблеми. Вона відіграє величезну роль в свідомості вчених і претендує на філософсько-світоглядну домінанту. Це стало можливим завдяки тому, що переосмислення наукової картини світу під впливом нелінійного підходу зіграло важливу роль в методології науки. Деякі філософи стверджують, що концепт нелінійності став таким самим фундаментальним, як і поняття матерії, еволюції. Але чи можна вважати, що питання нелінійності – це філософська проблема, а не проблема методології окремих наук? Адже нелінійні функції, які служать математичною опорою нелінійної концепції, застосовуються вже давно.

Нелінійні функції класичної науки описували Пуанкаре, Мандельштам, Андронов, Колмогоров, але вони досягали лише певні частини світу, який, однак, вважався лінійним. Методологічне осмислення нелінійності як парадигми в науці відбулося лише у 80-х роках ХХ ст. завдяки працям І.Пригожина. З того часу контрверза лінійність-нелінійність – це не надумана проблема: з одного боку, світ давався нам завдяки встановленню жорстко детермінованих закономірностей (такий підхід широко застосовується і в сучасній науці), з іншого, – не є жорстко детермінованим, кожен наступний мить неможливо однозначно визначити.

Потреба в нелінійному мисленні постала перед вченими після застосування ними нелінійних систем. Зокрема, наука стала перед проблемою опису нелінійних динамічних систем в різноманітних сферах фізики, хімії, біології, соціології. Це, з одного боку, означає, що стан системи, яка еволюціонує в нелінійному режимі, постійно входить в точки біфуркації, з іншого, – подальший стан системи не можна однозначно визначити, виходячи з попереднього. Така система описується нелійними функціями. Лінійна функція від нелінійної відрізняється тим, що вона реагує на збільшення незалежної змінної пропорційним збільшенням свого значення, незалежно від області визначення. Саме це і є критерієм визначення лінійності чи нелінійності функції. Нелінійні функції як теоретичний об'єкт досліджує так звана нелінійна динаміка, що має трансдисциплінарний характер і сферу застосування в фізиці, хімії, біології, космофізиці і соціальних науках.

Нелінійна теорія охоплює все розмаїття нелінійностей світу, але свій початок вона бере від нелінійної теорії динамічних систем, що використовує нелінійні математичні моделі. Поділ між лійними і нелійними теоріями проводиться за такою ознакою: теорія вважається лінійною або нелінійною залежно від того, яку концептуальну мову вона використовує (тобто лінійні або нелінійні математичні моделі). Сама ж нелінійна думка намагається охопити світ як "різома", що розростається, взаємодіючи з різними нелійними сутностями.

До ХХ ст. вважалося, що наука вже цілком оволоділа закономірностями природних процесів і з успіхом застосовує їх у виробництві. Власне, кожна окрема наука займалась тим, що відкривала певні закони в своїй області дослідження природи. Встановлення закономірностей зводилось до пошуку причинно-наслідкового зв'язку. Ньютонівська фізика описувала світ, де діють відповідні закони, що мали характер аксіом; це був погляд на досить компактний, ретельно продуманий світ, де все, що буде в майбутньому, строго

залежить від минулого. Картина світу мала вигляд логічної та цілісної, весь рух можна було пояснити через поняття сили. Єдине що залишалось незрозумілим – як рух почався? Ньютон пояснював, що першопочтовх надав бог. Найбільш яскраво таку картину описав Лаплас: “Інтелект, наділений точними і докладними відомостями про місцезнаходження всіх речей, з яких складається світ, і дії всіх природних сил і здатний піддати аналізу цю величезну кількість даних, зміг би виразити в одній і тій самій формулі рух найбільших тіл у Всесвіті і найдрібніших атомів: для нього не залишалось б незрозумілостей, і майбутнє, як і минуле, було б перед його очима. Крива, що описується молекулою повітря або пари, управляється настільки ж строго і виразно, як і планетні орбіти: між ними лише та різниця, що накладається нашим незнанням” [1, 122].

Тривалий час при такому застосуванні фізики не виникало проблем. Всі процеси повинні бути оборотні в часі. Основна проблема механіки полягала в тому, що реальні процеси в часі необоротні. Подальші дослідження природи показали, що ньютонівська картина світу була дуже обмеженою. Це була ідеалізована модель, адже вона давалась не в дослідях, а скоріш як домислення картини до чогось більш універсального, ніж можна винести з досвіду. Сам лінійний дослідницький апарат ніколи не дав би змоги підтвердити з необхідною точністю, чи виконуються ті чи інші фізичні закони. Але фізики минулого були впевнені, що саме лінійна теорія дає головний член безконечного ряду послідовних наближень до істини, а нелінійності приділяється скромна роль другорядних поправок до лінійної теорії, які змінюють висновки лінійності неістотно. Їхню впевненість у цьому зміцнювали блискучі успіхи лінійної теорії, і, насамперед, її вище досягнення – електродинаміка Максвелла. Це відзначають І.Пригожин та І.Стенгерс: “Претензії класичної фізики на верховенство серед інших наук були засновані на досягнутих нею успіхах в описі змінних об'єктів у термінах незмінних законів. Про інші науки можна було судити по тому, наскільки близько вдавалось підійти до такого ідеалу. Це привело до того, що деякі науки звели “наукову об'єктивність” в норму, тобто своєю вищою метою зробили пошук загальних закономірностей, що лежать за подіями або “суб'єктивними” проявами. Інші науки обрали контрмоделі, наголосивши особливо на протилежних цінностях” [2, 8].

Що ж надавало культурі лінійності такої універсальності? Справа в тому, що лінійність припускає виконання принципу суперпозиції. У цьому розумінні лінійність – категорія конструктивна. Знаючи результат дії кожної з двох (або багатьох) сил, що діють на тіло заданої маси, і користуючись принципом суперпозиції, можна сказати, як буде рухатися це тіло під дією сумарної сили. Це ж можна сказати і про дію сумарного електричного або магнітного полів.

Але, з іншого боку, при такому підході вчений доходив думки, що світ – це велика механічна сукупність окремих частин, і картину світу можна створити, склавши докупи всі його частини, які досліджувались окремо. Отже, складна система світу складалася як сума менш складних підсистем, ті, в свою чергу, розкладались на підсистеми і т.ін. Тому в завдання науковця входило передусім класифікувати знання, і тільки потім досліджувати закономірності окремих розділів. Та встановлення закономірності окремих розділів, наприклад фізики, не давало єдиного закону. Картина світу була частковою, і, дуже часто, фрагментарною. Основною проблемою для такого підходу в науці стало встановлення загальних законів і, відповідно, цілісної картини світу.

А.Пуанкаре на прикладі небесної механіки першим зрозумів, що світ – це не механізм годинника, який можна повністю обчислити, додавши відомості про всі відомі частини, навіть якщо взяти до уваги обмеження, які накладаються консервативністю і детерміністичністю. Причинна взаємодія всіх планет, зірок і небесних тіл нелінійна в тому розумінні, що в результаті її можуть виникнути хаотичні траєкторії (наприклад, в задачі трьох тіл). Майже через шістьдесят років після відкриття Пуанкаре А.Н. Колмогоров, В.І. Арнольд і Ю.К. Мозер довели так звану КАМ-теорему: траєкторії у фазовому просторі класичної механіки не повністю регулярні і не повністю нерегулярні, а мають дуже сильну чутливість до того, який початковий стан обирається. Невеликі флуктуації

можуть породжувати хаотичні режими, що філософською мовою прийнято називати як “ефект метелика”.

Дослідження таких явищ призвело до розвитку моделей процесів в природі. Відповідно вони почали вимагати нової концептуальної мови, заснованої на апараті нелінійної математики. Поряд із закритими системами почали вивчати відкриті (дисипативні) системи. Як стандартні приклади дисипативних систем наводять чарунки Бенара та реакцію Білоусова-Жаботинського. Чарунки Бенара – це виникнення впорядкованості у вигляді конвективних осередків у формі циліндричних валів або правильних шестигранних структур у шарі в'язкої рідини з вертикальним градієнтом температури, тобто при рівномірному підігріві знизу. Керівним параметром самоорганізації служить градієнт температури. Реакцію Білоусова-Жаботинського (BZ-reaction) ще прийнято називати хімічним годинником. Ця реакція протікає з часом неоднорідно, і хімічний розчин періодично змінює колір. Раніше вважалось, що автоколивання в хімічних системах неможливі. В подальшому для опису цієї реакції створили математичну модель [3], що дало можливість теоретично розрахувати експериментально спостережувані динамічні режими, включаючи хаотичні. І.Пригожин вважає працю Білоусова науковим подвигом ХХ ст., тому що відкриття реакції фактично дало поштовх до розвитку таких розділів сучасної науки, як синергетика, теорія динамічних систем і детермінованого хаосу, що, в свою чергу, викликало потребу в концепті нелінійного мислення.

Як відомо, головні праці Пригожина стосуються нерівноважних термодинамічних (дисипативних) систем. На початку становлення системного аналізу серед вчених велися дискусія щодо термінології, особливо щодо визначення поняття “система”. На той час існувало кілька десятків визначень. В класичній науці система розумілась як елементи (частини, компоненти) та зв'язки (відносини) між ними. Але з двадцятих років ХХ ст. класичне визначення системи почало еволюціонувати. У визначеннях Л. фон Берталанфі система – це “комплекс взаємодіючих компонентів” або “сукупність елементів, що перебувають у певних відносинах один з одним”. Р.Акоф визначає систему як “будь-яку сутність, концептуальну або фізичну, котра складається із взаємодіючих частин”.

Згодом стали враховувати, що елементи системи неоднорідні і відобразили це у визначенні системи, обумовлюючи різні множини елементів. Потім для уточнення елементів і зв'язків у визначенні системи виникли властивості. Так, у визначенні А.Хола властивості (атрибути) доповнюють поняття елемента (предмета). А.І. Уйомов узагальнив все, що пропонували різні автори у визначенні системи. За допомогою категорій “річ”, “властивість”, “відношення” він запропонував двоїсте визначення системи: з одного боку, властивості характеризують елементи (речі), з іншого, – властивості характеризують зв'язки (відносини). Згодом В.М. Садовський врахував у визначенні “системи” взаємодію її зі складним середовищем. На його думку: 1) система являє собою цілісний комплекс взаємозалежних елементів; 2) вона утворює особливу єдність із середовищем; 3) як правило, будь-яка досліджувана система являє собою елемент системи більш високого порядку; 4) елементи будь-якої досліджуваної системи, у свою чергу, звичайно виступають як системи більше низького порядку” [4].

Отже, класичне поняття системи в ХХ ст. стало не задовольняти понятійний апарат науки. Практика осмислення наукових відкриттів в природі засвідчила, що світ не може бути описаний якоюсь конкретною системою, як і його частини. Існування ізольованих частин світу виявилось ілюзією, насправді все в світі взаємопов'язане. Тому відкриття І.Пригожиним дисипативної системи робить справжню революцію в науці. Тепер система, яка за визначенням є чимось замкнутим, розумілась як щось протилежне. “Система” – “не система”, що не обмежується взаємодією внутрішніх частин і що опирається на концепцію відкритої системи, яка була запропонована в 30-х роках ХХ ст. Він уточнив загальну термінологію: відкриті системи вже існують в науці, але ще не мали філософського осмислення. Дисипативна система позбавлена недоліків ізольованості. Вона описує

можливість рівноважного стану, що виникає на певний час у нерівноважному середовищі за умови дисипації енергії, що надходить ззовні. Це нелінійна система, структура якої складна, часто хаотична, здатна до розвитку. Регулювання збільшення і зменшення ентропії відбувається завдяки дії механізму флуктуації, що описується Пригожином і Стенгерсом [5]. Дослідження школи Пригожина показали, що поняття структурної стабільності і порядку через флуктуації застосовні до фізичних, хімічних, економічних, соціальних систем: “Меж для структурної стійкості не існує. Нестійкості можуть виникати в будь-якій системі, варто лише ввести відповідні збурювання. Мутації і “новонароджені” елементи виникають стохастично і збираються в єдину систему панівними в цей момент детерміністичними принципами. Це дає можливість нам сподіватися на безперестанну генерацію “нових типів” і “нових ідей”, які можуть бути включені в структуру системи, забезпечуючи тим самим її безперервний розвиток” [6, 137].

Тут простежується виникнення в системі тих атрибутів, які їй не були властиві, і, відповідно, усвідомлення цього процесу вченими. Початкове поняття системи поступово переходить у свою протилежність. Але виникнення емерджентних атрибутів у системи, таких, як відкритість і взаємопов’язаність з іншими системами, і перетворює лінійне поняття системи в нелінійне.

З одного боку, науковці отримали проблему самоорганізації в нелінійних динамічних системах, з іншого, – проблему поведінки системи з великою кількістю змінних та зв’язків між ними. Відкрита система руйнувала всі уявлення про рівномірну, поступову еволюцію світу. Механізм дії дисипативних систем засвідчив: будь-яка частинка світу взаємопов’язана з будь-якою іншою. Це поставило питання про необхідність нового підходу до розгляду систем. Адже, якщо все в світі взаємопов’язане, то виникає необхідність в новій міждисциплінарній науці. Таким чином, наприкінці ХХ ст. виникла наука про складність.

Теорія відносності, що вивчає універсальні фізичні закономірності, які належать всьому світу, і квантова механіка, що вивчає закони мікросвіту, нелегкі для розуміння, проте вони мають справу із системами, які, з погляду сучасної науки, вважаються простими. Простими в тому розумінні, що в них входить невелика кількість змінних, і тому взаємодія між ними піддається математичній обробці і виведенню універсальних законів. Але, крім простих, існують складні системи, які складаються з великої кількості змінних і відповідно – великої кількості зв’язків між ними. Чим воно більше, тим гірше предмет дослідження піддається досягненню кінцевого результату — виведенню закономірностей функціонування даного об’єкта. Чим складніше система, тим більше в неї емерджентних властивостей, тобто властивостей, яких немає в її частинах і які є наслідком ефекту цілісності системи. Такі складні системи вивчає, наприклад, метеорологія – наука про кліматичні процеси. Недарма піонером в теорії складності традиційно вважають Е.Лоренцо – він працював над проблемами довгострокових прогнозів погоди.

Теорія складності зосереджує свою увагу на елементах в організації, які традиційно відносили до перешкод, безладу, хаосу й плутанини. Її основна мета – виведення закономірностей і прогнозування властивостей того нового, що виникає. Нове виникає в результаті флуктуацій як непередбачене і невиведене з наявного, водночас нове “запрограмоване” у вигляді спектра можливих шляхів розвитку, спектра щодо стійких структур-аттракторів еволюції. Нелінійне мислення є розуміння недостатності схеми послідовної і поступової кумулятивності в розвитку. Процес розвитку сполучає в собі, з одного боку, тенденції розбіжності, дивергенції, підвищення різноманітності, а з іншого, – тенденції сходження, конвергенції, згортання цієї різноманітності, підвищення вибіркості, каналізації розвитку.

Класичний, традиційний підхід до складних систем ґрунтувався на лінійному уявленні про їхнє функціонування. Відповідно до цього результат зовнішнього керівного впливу є однозначним і лінійним, тобто наслідок докладених зусиль передбачуваний,

керівний вплив дає бажаний результат. Чим більше вкладається енергії, тим більша віддача. Однак в складних системах виявляється, що багато зусиль бувають марними або завдають шкоди, якщо вони протистоять власним тенденціям саморозвитку складноорганізованих систем.

Одна з наочних математичних моделей функціонування складних систем – фундаментальна модель з джерелом і дисипацією, тобто модель взаємного змагання, гри двох тенденцій: тенденції, що створює неоднорідності у відкритому нелінійному середовищі, і тенденції, що розсіює неоднорідності. Залежно від переваги тієї або іншої тенденції можливі два типи розвитку процесів в середовищі: хвилі сходження (LS-режим) і хвилі розбіжності (HS-режим) процесу, що інтенсивно протікає. Інакше це називають режимами із загостренням. У математиці це такі процеси, коли величини необмежено зростають за кінцевий час (час загострення). В основі режиму із загостренням лежить нелінійний позитивний зворотний зв'язок.

Звідси випливає ряд світоглядно важливих наслідків. Локалізація хаосу в певній формі, виникнення структури в LS-режимі являє собою аналог закону інерції в механіці. З цим пов'язане положення про існування різних структур, що розвиваються з різною швидкістю. Таким чином, виявляється, що нелінійний процес має ще такий атрибут, як прискорення.

З іншого боку, складні моделі, що описують багатовимірні хаотичні системи, наприклад турбулентність, на уставлених асимптотичних стадіях вироджуються в прості моделі. На цих стадіях дисипативні системи можуть бути описані рівняннями, які допускають інваріантно-групові рішення. Інакше кажучи, хоча процеси в системах можуть бути надзвичайно складними і заплутаними, структури-аттрактори еволюції можуть бути описані відносно просто.

Один з найбільш вагомих результатів нелінійного аналізу і математичного моделювання процесів – відкриття в ІПМ імені М.В. Келдиша РАН феномена інерції тепла (локалізації тепла в певній формі), а також хвиль сходження і підвищення інтенсивності горіння (LS-режиму із загостренням) у відкритому середовищі з дисипацією енергії. Тим часом, як здоровий глузд підказує нам, що тепло може тільки розтікатися, поширюватися, дифундувати у просторі, математичне моделювання відкриває можливість іншого протікання процесів, вказує на існування у світі протилежного начала [7]. У відкритих середовищах із сильною нелінійністю можливе взаємне перемикавання хвиль розбіжності і сходження. Наявність двох протилежностей, що взаємодіють, дає джерело для безперервного розвитку системи. Системи перебувають у постійному русі, взаємодії із зовнішнім середовищем, переробляючи інформацію і здійснюючи зворотний зв'язок. Стадії динамічного спокою перемежуються зі стадіями настільки складними, що справляють враження повного і непередбаченого хаосу. Порядок народжується з безладдя в процесі самоорганізації, але в певний момент “ослаблена” стабільністю система знову народжує хаос.

Контроверза лінійності і нелінійності існує у переході від принципів детерміністичної картини світу до картини багатоваріантного розвитку. Протистояння відбувається на рівні протиставлення сучасних знань про світ знанням доби класицизму, а не на рівні наукових шкіл. Відповідно, в понятійному полі методології науки йде інтенсивне формування нових понять і термінів, що веде до виникнення нової концептуальної мови.

Проблема наукового сучасного мислення полягає в тому, що воно досі не визначило місце для лінійності та нелінійності. Справа не в тому, що лінійний підхід в науці є хибним. Навпаки, він дуже ефективний і правильний при умисному застосуванні. Але його не можна робити ідолом наукового мислення. Відсутність в науці загальноприйнятого концепту нелінійності призводить до того, що багато науковців ще досі намагаються пояснювати світ за допомогою лінійних методів, навіть нелінійність намагаються зрозуміти як результат лінеаризації.

Філософське осмислення нелінійності внесло в методологію науки нові світоглядні положення:

– навколишній світ – нелінійний, він описується нелінійними рівняннями. Відповідно нелінійні явища в сучасній науці є не винятком, а закономірністю;

– нелінійність – універсальна, фундаментальна і головна властивість світу. Вона споконвічно властива природі;

– матерія – надскладна нелінійна система. Її еволюція описується нелінійними співвідношеннями;

– за лінійною парадигмою світ розглядався як адитивна сума його частин, за нелінійною світ має розглядатись в цілісності, як органічна сума всіх елементів;

– можливість переходу нелінійної системи від порядку до хаосу і навпаки – дві найважливіші властивості нелінійного світу. При осмисленні цього явища наукове товариство дійшло висновку, що складні динамічні системи мають здатність до самоорганізації. Явище саморегуляції можливе завдяки наявності зворотного зв'язку в дисипативних системах. Подальші дослідження підтвердили існування таких складних систем, що самоорганізуються у багатьох природничих і гуманітарних науках.

Нелінійна наука складніша і багатша явищами, ніж лінійна. Тому остання має залишатися в межах нелінійної науки. Відповідно нелінійне світобачення більш адекватне, воно більш об'ємне й більш різноманітне, ніж лінійне. Тому введення нелінійності в науку не могло не змінити наукову картину світу. Тепер світ уявляється як щось пульсуюче, що має свої “ритми життя”, що зазнав впливу періодичних нелінійних коливань на всіх рівнях його ієрархічної організації.

В процесі наукового дискурсу з проблеми співвідношення лінійності і нелінійності виник цілий пласт міждисциплінарних наук nonlinear science, що охоплює нелінійну динаміку, теорію самоорганізації, теорію дисипативних систем, теорію біфуркації і катастроф, синергетику – весь комплекс “наук про складність” [8, 74]. Це наводить нас на необхідність осмислення буття людини в новому, нелінійному світі. Адже в межах лінійного осмислення світу класичної науки людська діяльність взагалі не розглядалась. Виведення людини за межі пасивної природи, відділення законів громадського життя від життя природи було вихідним світоглядним пунктом антропоцентричного технократизму щодо природи і нинішніх екологічних трагедій. Навпаки, нинішня тенденція до усвідомлення єдності людини і природи, природи і суспільства дає шанс новому розумінню відповідальності людини за свої дії, оскільки й слабкі флуктуації, внесені нею у природне існування, підсилюючись, можуть мати планетарні наслідки, як негативні, так і позитивні.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Сарек М.* The Philosophical Impact of Contemporary Physics. – Princeton, 1961.
2. *Пригожин И., Стенгерс И.* Время, хаос, квант. – М., 1994.
3. *Жаботинский А.М.* Концентрационные колебания. – М., 1974.
4. *Волкова В.Н.* Из истории развития системного анализа в нашей стране. Экономическая наука в современной России. – 2001. – № 2.
5. *Пригожин И., Стенгерс И.* Порядок из хаоса: Новый диалог человека с природой. – М., 1986.
6. *Пригожин И.* От существующего к возникающему. – М., 1985.
7. *Князева Е.Н., Курдюмов С.П.* Синергетика: начала нелинейного мышления // Общественные науки и современность. – 1993. – № 2.
8. *Лук'янець В.С., Кравченко О.М., Озадовська Л.В.* Світоглядні імплікації науки. – К., 2004.