

І. А. Джалладова, професор,
О. І. Бабинюк, асистент,
кафедра вищої математики ФІСІТ КНЕУ

АНАЛІЗ МОДЕЛЕЙ ПРОГНОЗУВАННЯ СТАНУ ЧИСЕЛЬНОСТІ НАСЕЛЕННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДІВ ЕКОНОФІЗИКИ

АНОТАЦІЯ. У статті узагальнюються наявні погляди щодо виникнення понять «стан», «простір», «невизначеність», «стабілізація» в контексті історії пізнання, висвітлюється глибинний науковий зміст цих категорій і дається аналіз механізму їх функціонування виходячи з теорії стохастичних динамічних систем, зокрема явищ економічної теорії. Розглядаються питання, пов'язані з проблемами стабілізації моделей чисельності населення за умов невизначеності. Для моделювання пропонується один з найбільш актуальних та перспективних напрямків сучасної науки — використання фізичних моделей у процесі дослідження різних аспектів діяльності людського суспільства.

ANNOTATION. The article sums up the existing views on the notions of «State», «space», «uncertainty», «stabilized» in the context of the history of knowledge, reflected intensity scientific content of these categories and provides an analysis of the mechanism of their functioning is based on the theory of stochastic dynamical systems, including the phenomena of economic theory. Considered the question of connection with problems of stabilization models of population in conditions of uncertainty. For modeling is one of the most actual and perspective directions of modern science — the use of physical models in the study of various aspects of human society.

КЛЮЧОВІ СЛОВА. стан, простір, стохастичні динамічні системи, стійкість математичні моделі проблем народонаселення.

Вступ

Поштовхом для написання статті стала публікація відомого фізика-теоретика Б. Мігдала [13], який закликає читачів до серйозного філософського спору, ставлячи низку запитань: чи потрібна точним наукам філософія? чи допомагає вона в науковій роботі? і т. ін. Обмежуючись обговоренням філософії фізики, автор намагається привернути увагу природознавців, істориків науки і філософів до розроблення прикладної філософії, під якою розуміє «форму наукової інтуїції, що є усвідомленою та систематизованою, яка виникла на основі зіставлення різних методів розв'язання багатьох конкретних завдань і на детальному та глибокому аналізі всього того, що стосується об'єкта дослідження».

Як відомо, філософія *взагалі* на має безпосереднього прикладного значення, однак, як і поезія, становить частину духовного

багатства людини. Це зауваження можна віднести і до математики. Математика — суто абстрактна наука, і завдяки своїй абстрактності вона універсальна. Багато її пошуків не мають проєкцій на повсякденне життя, але разом з тим її методи дослідження збагачують конкретні прикладні науки, котрі якраз безпосередньо впливають на наше існування.

Загальну філософію, так само, як і математику, більшість сприймає як поезію думки, де рядки скріплені не образами, а логікою. Особливість прикладної філософії в тому, що після завершення дослідження філософська проблема начебто знімається, переходячи з наукової царини в навчальну. Б. Мігдал пропонує науковцям не нехтувати прикладною філософією, а прагнути до її формування, керуючись законами діалектики, наповнюючи їх конкретним змістом. Утім вплив законів діалектики на науку — питання спірне, адже вчені світу міркують діалектично, не називаючи і не формулюючи «законів діалектики», а спираючись на здоровий глузд та інтуїцію. І тут виникає запитання — а чи так безпечні ці «стихійні діалектики»?

Сьогодні, мабуть, і говорити не треба про те, що політика та ідеологія мають бути якнайбільше віддалені від науки. Але пригадаємо не таке вже й далеке минуле — 1920—1930-ті роки, коли розпалився відомий спір «механістів» та «діалектиків». Він не минув і математику, хоча вітчизняна математика завдяки своїй абстрактності спромоглась «зберегтися», якщо порівняти з іншими науками. Нагадаємо, що тоді йшлося про заміну математичних методів методом діалектичного матеріалізму, про впровадження діалектики в математику. Так, видатний математик С. Н. Бернштейн, як, до речі, і багато інших, зазнав свого часу гонінь за неприймання діалектичного методу в математиці. Адже він був переконаний, що цей метод не має виразності та строгості і що він веде до недоумкуватості. Можливо, це звучить грубо, але дає зрозуміти одне: тріумф логіки та міри має бути безперечним. Отже, можна в чомусь погоджуватися чи ні з Мігдалом, але потреба філософського розуміння роботи вченого, обґрунтована ним достатньо переконливо, здається важливою ланкою в наукових дослідженнях.

Зазначимо, що дослідження в [1; 2] тісно пов'язані з вивченням стійкості нелінійних нестационарних систем диференціальних рівнянь, теорією ймовірностей, теорією систем та моделюванням різних станів, явищ в економічних динамічних системах. Однією з вихідних категорій, на які спираються згадані дослідження, є поняття «стан». Місце та роль останнього достатньо глибоко вивчені у фізиці, особливо у квантовій механіці.

У пропонованій праці узагальнюється дібраний матеріал про виникнення категорії «стан» в історичній ретроспективі, висвітлюється глибинний науковий зміст цього поняття і дається аналіз механізму його функціонування виходячи з теорії стохастичних динамічних систем, зокрема явищ економічної теорії.

1. Історія виникнення поняття «стан»

1. Для з'ясування логіки виникнення поняття «стан» проаналізуємо взагалі роль понять і категорій як розумових форм, що віддзеркалюють матеріальний світ.

Людина (суб'єкт пізнання), починаючи пізнавати навколишній світ, сприймає його як єдине ціле. Далі, аналізуючи саме буття, вона рано чи пізно доходить ідеї руху, зміни взагалі. Від установлення факту існування світу та закріплення цього факту в поняттях людський розум переходить до аналізу цього існування, що, безумовно, визначається потребами практики. А отже, цілком природним є відобразити і рух у поняттях, оскільки все, що існує, є матерія, що рухається. У ній суб'єкт виокремлює спочатку якість, і тоді буття являє перехід від однієї якості до іншої. Цей перехід можна подати як переривчастий зв'язок станів. Завдання в тому, щоб у процесі пізнання перейти від переривчастого зв'язку станів до неперервного кількісного. І тут, звісно, не обійтися без визначення взаємозв'язку стану з буттям, якістю, кількістю, мірою і т. ін.

2. Уперше поняття «стан» з'явилося у працях Арістотеля [26]: «*Станом*, що зазнає впливу, з одного боку, називається якість, стосовно до якої можливі зміни, а з другого боку, так називаються вже реальні процеси або зміни в царині цих властивостей». Стоїки також аналізували це поняття. Вони розрізняли категорії «якість» і «стан». Якість, на їхню думку, неповно характеризує об'єкт, тому потрібна характеристика за станом. У них поняття «стан» фіксувало зміну деякого суцього і було відносним.

Категорію «стан» вивчали Епікур, Лукрецій Кар, а завдяки працям Лапласа та Ньютона це поняття утверджується як основне у фізиці і математиці. Кант, розкриваючи зв'язок стану і миті, розрізняє стан миті і стан тривалості: «Як можна, щоб за станом в один момент часу настає протилежний стан в інший момент? Для відповіді на такі питання потрібне знання справжніх сил, яке може бути здобуто тільки емпірично» [10].

Найбільш повно це поняття розкрив Гегель у «Науці логіки». Він, як відомо, заперечував розвиток природи з часом. Процес зміни філософ розглядав тільки як зміну абсолютної ідеї, зміну в мисленні. З погляду проблеми, яку ми розглядаємо, «абсолютна

ідея» Гегеля є ідеальна основа, що зазнає процесу зміни. Послідовність категорій являє собою зв'язок станів цієї основи. Гегель логічно виводить поняття стану як одну з категорій разом з поняттям субстрату часу. Категорія стану продовжує низку категорій (якості, кількості, міри) і є ніби знятою мірою. «...Цей процес є як реалізацією дальшого визначення міри, так і пониженням послідовності до рівня моменту» [6].

Поняття стану набуває справжнього обґрунтування, а головню, теоретичного опису лише з виникненням інтегро-диференціального методу дослідження. Закони Ньютона і відповідний їм понятійний апарат — це перша спроба кількісного опису станів процесів зміни через *стан*. Аналізуючи поняття «стан» з позиції математичного формалізму, можна з'ясувати деякі специфічні особливості кількісного задавання стану.

Не зупиняючись на конкретних визначеннях понять диференціального числення (функції, нескінченно малої величини, похідної), розглянемо лише висновки, які робить К. Маркс [12], простежуючи становлення цих понять. Нескінченно мала величина, за Марксом, це величина, яка *має конкретний зміст* та «рухається». «...Усі труднощі в розумінні диференціальної операції (як і будь-якого заперечення взагалі) і полягають якраз у тому, щоб побачити, чим вона відрізняється від такої простої процедури і як веде тому до справжніх результатів» [12]. Коли в історії фізичного пізнання ставиться питання про пошук швидкості частинки, що рухається нерівномірно (фізичний зміст похідної), то поняття стану дістає можливість бути усвідомленим, тобто сутність поняття «стан» з'ясовується в процесі аналізу механізму відображення руху в диференціальному численні.

Маємо, однак, констатувати, що в сучасній філософії розглядуваній нами категорії приділяється недостатньо уваги (з огляду на обмеженість літератури із цього питання). Тому важко показати позицію філософів, яка на сьогоднішній день визначає місце *стану* з-поміж інших категорій. Найбільш близьким з позиції застосування цього поняття в наукових працях [22; 24] є підхід відомого математика В. П. Старжинського [17], який визначає стан як міру процесів зміни.

2. Особливості поняття «стан»

2.1. Суперечливість. Поняття стану має суперечливий характер, позаяк є реалізацією міри, на суперечливість якої вказував ще Гегель. Філософська категорія міри перетворюється в поняття стану за умови конкретизації, за переходу в аналізі явищ від абстрактного до конкретного. Поняття «стан» застосовується для ві-

дображення процесу зміни і містить у собі якісно-кількісні моменти порівняння. На високому рівні розвитку теорії це поняття описує процеси зміни за допомогою кількісних параметрів. Гегель уперше в історії пізнання подає міру як процес. Увесь процес природного пізнання, який здійснюється за участі математичних методів, можна подати як знаходження міри, як заміну однієї міри іншою. Тому Гегель писав, що математика природи, якщо вона хоче бути гідною цього імені, по суті, має бути наукою про міри». Гегель наголошує, що в мірі підготовлена ідея сутності, і тим самим стверджує можливість переходу міри як чутливо-коректної до міри абстрактної, тобто до стану. Крім того, суперечність поняття «стан» виявляється в самому способі відображення процесів зміни як станів, що змінюються, через відносно незмінне. Процес зміни можна уявити, якщо вибрати основу, що перебуває у відносному спокої і переходить з одного стану в інший. Утім однозначно, скоріше за все, визначити зв'язки та співвідношення об'єктивного світу, які визначають сутність стану, неможливо, позаяк вони залежать від рівня пізнання. Аналіз цих зв'язків виявляє таку властивість поняття «стан», як відносність. Це виявляється в різних видах зв'язку станів залежно від вибраної основи і, природно, від вибору системи відліку.

2.2. Причинність і зв'язок станів. Причинність і зв'язок — дві відносно самостійні форми. Цей висновок нами зроблений виходячи з досліджень Л. Б. Баженова, Г. А. Свечнікова [3; 15] та інших авторів. Так, Л. Б. Баженов виходить з положення про те, що в розвинутих теоріях причинність виражається у вигляді математичних законів. Знаючи ці закони, за відомими попередніми станами можна передбачити наступні стани. Але це не дає підстав для висновку про тотожність зв'язку та причинності. Причинність визначає характер зв'язку стану об'єкта. Узагалі кажучи, теорія детермінізму зазнає нині змін, однак про це згадаємо трохи пізніше.

2.3. Статус поняття «стан». Усталеного погляду із цього питання на сьогоднішній день немає. В. П. Старжинський, з'ясовуючи статус поняття «стан» (природничче, філософське, загальнонаукове), аналізуючи думки багатьох авторів, доходять висновку, що стан — поняття складної структури, яке вміщує велику кількість означень. *Стан* — це інтегративне поняття, що втілює в себе різні рівні пізнання сутності речей. Г. Вейль щодо динаміки розвитку подібних понять писав: «...Ми починаємо з деякого загального, але туманного принципу ...потім знаходимо важливий окремий випадок, розгляд якого дає можливість надати

нашому поняттю конкретного змісту. Далі, відштовхуючись від окремого випадку, ми піднімаємося до загального, причому спираємося на математичні побудови та математичну абстракцію, і доходимо поняття, що має не менш загальний характер, ніж те, з якого ми почали. Може виявитися, що при цьому ми загубили значну частину емоційного забарвлення початкового поняття, однак нове поняття буде в царині мислення володіти такою самою, якщо не більшою, силою узагальнення, крім того, буде точним, на відміну від початкового туманного поняття» [4]. При цьому зрозуміло, що описаний раніше процес можливий тільки за участі математичних методів.

3. Аналіз способів опису станів

Виходячи з того, що стан є міра процесів зміни, розглянемо способи опису станів у плані діалектичного поєднання вимірювальних та описових процедур, а також питання одержання якісної та кількісної визначеності. Треба нагадати, що, за Гегелем, вимірювальна процедура у широкому розумінні — пошук міри речей та процесів і тому вміщує в себе вимірювання у вузькому розумінні як порівняння з еталоном і протиставлення йому опису. Інакше кажучи, це процес вираження якості через кількість.

Вимірювання, за Кемпбеллом, лягло в основу репрезентативної теорії вимірювання, тобто такої, яку можна застосувати до явищ, котрі важко формалізувати та виміряти. Тож вимірювання — це *меризація* властивостей. Механізм меризації властивостей украй складний. Властивості, що віддзеркалюються фізичним пізнанням, перетворюються на величини.

Зіставлення уявлень про стани в античності та у філософії нового часу показує, що початковий спосіб опису процесів зміни як станів був якісний. У період панування класичної механіки абсолютизувався кількісний підхід, який у своєму логічному завершенні приводить до концепції однозначного кількісного зв'язку будь-яких станів об'єктів. Обмеженість класичної механіки полягає в абсолютизації кількісних відносин, абстрагуванні від якісних змін. У класичних статистичних способах меризації властивостей однозначність кількісного опису досягається за допомогою ймовірнісних уявлень, які є наслідком неповного знання про стани об'єкта, неповної інформації, яку дає вимірювальна процедура. Аналіз сучасних способів опису станів об'єктів показує, що якісної визначеності кількісна визначеність знаходить у математичному формалізмі. Функціональна залежність є математичною реалізацією задавання стану. Якісна визначеність задавання стану пов'язується зі знаходженням, ідеалізацією «вихідних образів» і є

передумовою та кінцевим результатом кількісної визначеності. Якщо на початковому етапі якісна визначеність є результатом споглядального ставлення до світу, то на теоретичному рівні вона виступає як інтерпретація математичного каркасу теорії, визначення «природи тих чи інших понять», тоді як кількісна визначеність являє собою результат передусім вимірювальної процедури, опосередкованої через теоретичний рівень знання.

Завдяки вимірювальній процедурі суб'єкт дістає мірні характеристики станів об'єкта у вигляді числових значень та пов'язує їх певними функціональними залежностями. Вважається, що класичний спосіб меризації властивостей, спосіб опису станів, не змінює властивостей, які відображаються. Так, В. А. Фок відзначав основну рису класичного способу опису за допомогою задавання станів — можливість побачити явище, не втручаючись у нього. З виникненням квантово-механічного способу опису станів виявилось неможливим елімінувати практичну пізнавальну діяльність суб'єкта, оскільки вона безпосередньо включалась у формулювання законів мікросвіту. Стан об'єкта є характеристика не об'єкта «самого по собі», а об'єкта, що залучений у відносини «об'єкт — суб'єкт, що пізнає». У неявному вигляді статус суб'єкт-об'єктних відносин подає відносність опису процесів зміни як зв'язку станів, характерного і для класичних методів. Мабуть, переконливим підтвердженням цієї тези буде теоретичний опис класичних об'єктів Ньютоном і Лагранжем. Суб'єкт-об'єктні відносини виявляються і в описі станів у принципі відносності Галілея.

Поява нових способів задавання станів дає можливість зрозуміти еквівалентність та принципову відмінність у способах задавання станів об'єкта. Розгляд цих способів опису показує значення поняття стану як єдності якісних і кількісних моментів, що містять у собі не тільки знання про об'єкт, але й спосіб здобування цього знання.

4. Опис станів у теорії систем

Розглянемо проблеми, які виникають під час осмислення способу опису стану об'єктів у реальних системах та математичних їх моделях. Виходитимемо з того, що з'ясувати зміст поняття «стан» можна, розглядаючи його у схемі, що називається способом задавання об'єктів.

Стан системи належить до вихідних понять теорії систем, і тому не визначається дедуктивно. Не вдаючись до деталей математичного апарату, дамо таке його пояснення. Нехай виділено деякий момент часу з області визначення системи, який узятий за

початковий, і йому у відповідність ставиться початковий стан системи. Поняття «початковий стан системи» має такий зміст: у даних характеристиках початкового стану системи міститься інформація про минуле системи, необхідна для визначення її реакції в майбутньому. Знання стану в поточний момент часу поставляє додаткову інформацію, яка вносить визначеність у співвідношення між цим моментом часу та наступним за ним інтервалом часу. Стан визначається системою чисел, які формуються за інформацію про функції, що характеризують ніби «початковий» (вхідний сигнал) та «кінцевий» (вихідний сигнал) стан системи.

Процеси в системах описуються диференціальними рівняннями. Стан системи в конкретний момент часу описується граничним значенням розв'язку системи диференціальних рівнянь. Для того щоб у рамках математичного апарату розв'язати поставлене завдання, з'ясуємо зміст деяких понять у теорії систем і передусім поняття «простір станів». Простір станів — це математичний об'єкт, у якому «живуть», «функціонують» усі інші поняття, що відбивають ті чи інші частини об'єктів. «Головною дійовою особою», початковим елементом цього простору є вектор стану — числова характеристика, через яку спробуємо визначити форми задавання станів у теорії систем. Їх три: детермінована, недетермінована та ймовірнісна.

Якщо вектор стану заданий для даного моменту часу, то таке задавання стану є детермінованим. Це найбільш простий випадок, і він порівняно нецікавий. Розглядається процес, за якого зазначені всі змінні, що характеризують умови його перебігу, і можна відносно легко визначити числові (кількісні) та якісні характеристики. Якщо для даного моменту часу вектор стану невідомий, але задана область у просторі станів і відомо, що він належить цій області, то таке задавання стану називається недетермінованим.

Задавання стану називається ймовірнісним, якщо для даного моменту часу вектор стану невідомий, але заданий:

- як система випадкових величин;
- як випадкова послідовність;
- як випадкова функція часу

— залежно від системи, з якою маємо справу. Це найбільш цікавий випадок задавання станів як у математичному плані, так і в проекції на філософське розуміння проблеми.

Сам вектор стану безпосередньо не описує процесів, які відбуваються; з його допомогою ймовірнісним способом виражені можливості тих чи інших станів. Виникає ніби відчуття неповно-

ти, неточності опису. Ця проблема не нова. За квантово-механічного способу опису станів її дуже чітко сформулював А. Ейнштейн: «Принципово незадовільним у цій теорії є її стосунки до того, що я вважаю метою всієї фізики; повний опис реального стану довільної системи, яка існує незалежно від акту спостереження або існування спостерігача» [23]. Отже, останні два способи задавання стану в теорії систем не дають можливості однозначно, детерміністські, описати її стан. Математичний апарат у вигляді диференціальних рівнянь багатозначно, ймовірно проектується на величини, які безпосередньо характеризують об'єктивну реальність. Рівняння описують той чи інший процес, але це є не безпосередньо процес зміни самих об'єктів дійсності, а процес зміни ймовірнісних результатів взаємодії майбутніх переходів, сигналів. Цікаво в цьому плані розглянути функціонування ймовірнісних уявлень взагалі. Ймовірнісні уявлення вводяться для відображення многозначної поведінки об'єктів в однозначній формі. Якщо набір явищ, котрі спостерігаються, стійкий, такий, що зберігається, зв'язок буде сутністю. Кожне явище більш чи менш суттєво. Мірою сутності в її відображенні через явище є ймовірність.

Ймовірність — це строго математична форма синтезу характеристик однозначної чи многозначної поведінки об'єктів. Наявність однозначних чи многозначних відносин визначається ієрархічністю систем у внутрішній організації світу. Аналізу структурної організації матерії та ймовірнісному їх відображенню приділяв велику увагу Н. Вінер. Він писав: «...світ являє собою деякий організм, закріплений не настільки жорстко, що незначні зміни в будь-якій його частині одразу не позбавляли притаманних йому особливостей, і не настільки вільно, щоб будь-яка подія могла відбутися настільки само ясно та просто, як і будь-яка інша. Цей світ, який однаково вільний від окостеніння ньютонівської фізики й аморфної податливості стану максимальної ентропії або теплової смерті, коли вже не може відбутися нічого нового. Цей світ Процесу...».

Отже, у теорії систем диференціальні рівняння описують стан об'єкта через об'єктивно відповідні їм потенціальні можливості. Математичні моделі в цілому віддзеркалюють реальні системи як можливі в деякій реальності. Мірою можливості в реальності є ймовірність — одна з характеристик способу опису процесу зміни через стани. Тож у розгляді способу опису станів виявляються певні особливості поняття стану як елемента теорії систем. Проте виявлення місця та ролі цього поняття в теорії систем, і як філо-

софської категорії в системі категорій, не є самоціллю. Дослідження цього питання дає змогу лише наблизитися до більш важливої проблеми — проблеми стійкості системи.

5. Проблема стійкості (стабільності) системи

«У чому сенс змін, які відбулись у відносинах людини і природи? У детермінантному світі природа піддається повному контролю з боку людини, являючи собою інертний об'єкт його бажань. Якщо ж природі властива нестабільність, то людина повинна обережно ставитися до світу, хоча б через неможливість передбачити те, що відбудеться в майбутньому», — писав І. Пригожин, відомий учений у царині теорії систем. Його трактування проблеми нестабільності зводиться до такого. Уведення самого поняття нестабільності стало реальним завдяки поєднанню низки наукових експериментальних і теоретичних відкриттів. Це, по перше, відкриття нерівноважних структур, які виникають як результат незворотних процесів і в яких системні зв'язки встановлюються самі по собі; по друге, поява ідеї конструктивної ролі часу завдяки відкриттю нерівноважних структур і остаточне утвердження нових ідей щодо динамічних, нестабільних систем.

У цьому зв'язку треба пригадати про відкриття у сфері елементарних частинок, які продемонстрували фундаментальну нестабільність матерії, а також про космічні відкриття, які констатували, що всесвіт має історію. Космологія розглядає всесвіт значною мірою як хаотичне середовище, в якому викристалізовується порядок. Новітні дослідження довели, що на кожний мільярд теплових фотонів, що перебувають у хаосі, припадає хоча б одна елементарна частинка, яка може стимулювати в даній безлічі фотонів перехід до впорядкованої структури. Тож порядок та хаос існують як два аспекти одного цілого і дають різне бачення світу.

Наше сприйняття природи стає дуалістичним та стрижневим. У такому сприйнятті виникає уявлення про нерівноважність, причому нерівноважність, яка веде не тільки до порядку і хаосу, але й відкриває також можливості для виникнення унікальних подій. У ситуації, яка далека від рівноважної, диференціальні рівняння, що моделюють той чи інший природний процес, стають нелінійними, а нелінійні рівняння зазвичай мають більше ніж один розв'язок. Тому в будь-який момент часу може виникнути новий тип розв'язків, який не можна звести до попереднього, а в точках зміни типів розв'язків може відбуватися зміна просторово-часової організації об'єкту. Образно кажучи, у рівновазі матерія сліпа, а поза рівновагою прозирає. Отже, лише в нерівноваж-

ній системі можуть відбутись унікальні події і флуктуації, які допомагають цим подіям, а також відбувається розширення масштабів системи, підвищення її чутливості до зовнішнього світу, і, як наслідок, виникає історична перспектива, тобто можливість появи інших, можливо, навіть більш досконалих форм організації. Виникає нова категорія феноменів, яку називають аттракторами, тобто розв'язки системи диференціальних рівнянь, до яких за близьких початкових умов наближаються інші розв'язки. Якщо аттрактор не є станом рівноваги системи або її коливальним режимом, то він називається чудним аттрактором, який у відображенні перехідних «критичних» процесів у динамічних системах відіграє особливу роль. Чудні аттрактори є незвичайними математичними об'єктами. З одного боку, для їх опису використовуються системи диференціальних рівнянь, у яких усе визначено, детерміновано і не міститься ніяких стохастичних членів. А з другого боку, і це насправді диво, поведінка розв'язків набуває хаотично непередбачуваного характеру.

Цілком детермінована з погляду традиційних уявлень система породжує інтердетермінований хаотичний процес. І, найголовніше, у природі виявлені явища, моделювати які можна лише за допомогою згаданого типу аттракторів. При цьому явища такого роду спостерігаються не тільки в екзотичних сферах фізичної реальності типу мега- та макросвіту, але й у масштабах людини (наприклад, навколишнє середовище, клімат). Екологія, наша нервова система можуть бути зрозумілі тільки на основі описаних раніше уявлень, і моделюються саме чудними аттракторами, які у фазовому просторі зображують зміну станів об'єктів. У зв'язку з цим яким же має бути ставлення людини до світу?

Не ми обирали світ, який нам доводиться вивчати, ми народились у цьому світі і нам треба сприймати його таким, який він є, пристосовуючи до нього наші апіорні уявлення. Світ нестабільний. Визнання нестабільності — не капітуляція, а навпаки, запрошення до нових експериментів і теоретичних досліджень, які враховують специфічний характер цього світу. Треба прощатися з уявленням, начебто світ — це наш безмовний слуга. Ми повинні з повагою ставитися до нього і повинні визнати, що не зможемо цілком контролювати наш світ нестабільних феноменів, як не зможемо контролювати соціальні процеси. Це, до речі, слугує ще одним нагадуванням, що наше знання — невелике віконце в універсум, і що завдяки нестабільності світу треба відмовитися від мрії вичерпного знання. Зазираючи у віконце, ми можемо екстраполювати ті знання, що маємо, за межі нашого бачення і будова-

ти здогади з приводу того, яким міг би бути механізм, що керує динамікою універсуму. Але ж не треба забувати, що хоч ми і можемо знати початкові умови стану об'єкта в нескінченній кількості точок, майбутнє все одно залишається принципово непередбаченим».

Відомий учений С. П. Курдюмов, спеціаліст із дослідження самоорганізації стійких структур у нелінійних середовищах, що горять, не поділяє думку І. Пригожина про панування сьогодні погляду на світ як на дещо безмежно нестійке. «Будь-які повороти та перевероти в мисленні, — за С.П. Курдюмовим, — не можуть супроводжуватися повним відкиданням будь-яких уявлень, наявних у минулому, щось залишається поза полем зору, а щось перетлумачується, і саме перетлумачення опрацьованого матеріалу стосовно до нових теоретичних уявлень (які можуть мати своїм джерелом раніше відкинуті концепції) становить суть концептуальних зсувів, які дають змогу твердити про перехід з одного рівня на інший» [11]. Нестійкість пронизує всесвіт від верху до низу, забезпечуючи на різних рівнях різний перебіг подій. Нестійкість, коли середовище однорідне, веде до створення складних структур, в іншому разі — до їх руйнування. Фізичним забезпеченням нестійкості є хаос. Хаос породжує порядок, який виявляється в тому, що виникають не будь-які структури, а лише певний їх набір. Подане уявлення про нестабільність передбачає, крім того, багатоваріантність шляхів еволюції природних і не тільки природних об'єктів, що дозволяє говорити про внутрішні тенденції, які відповідають тому чи іншому фрагменту реальності, про наявність внутрішніх змін.

С. П. Курдюмов переконаний, що всі складні структури у світі повинні бути нестабільними, мати коливальний характер. В одному режимі вони локалізують та утримують хаос у певній формі, в іншому — поблизу моменту загострення — саме утримання завдяки додатному оберненому зв'язку сприяє дії хаосу, що тягне за собою статистичну поведінку системи та її розпад. Тобто вчений, визнаючи нестабільність у світі, не відмовляється від детермінованості, закономірності процесів.

Афганський математик Мухамед Сідік більш непохитний, стверджуючи, що у світі є одні закономірності, і не має ніяких випадковостей. Сідік побудував цілу теорію, яка дає змогу за строгими математичними формулами збагнути походження будь-якого чи-то соціального, чи-то природного процесу. Не маючи можливості близько ознайомитися з його теорією (в Україні не публікувалися його праці, а сам він не один раз зазнавав утисків

за «єресь»), наведемо лише слова Сідіка про його «техніки»: «Я готую чарівний суп: математика — сіль, політика — перець, філософія — цукор, історія — вода і т. ін.». Також зазначимо, що робота Сідіка взята під охорону ООН, і що все, про що він говорить, раніше чи пізніше справджується, у результаті чого виникають сумніви, а чи ж так у світі, житті людини, суспільства все випадково і нестійке? Але при всьому цьому Мухамед Сідік визнає, що його теорія, скоріше, розкриває те, що передбачено «зверху», але багато чого залежить від людини, від її втручання в той чи інший процес, від її вибору поведінки з урахуванням конкретної ситуації.

6. Проблема стабілізації в моделях прогнозування майбутньої чисельності людства

Роль безумовного фавориту в сучасних дослідженнях відіграє теорія самоорганізації, або синергетика. Більшість надій, які раніше були пов'язані з кібернетикою, нині покладають на синергетику. Найбільш привабливою в кібернетиці була ідея чорного ящика, тобто системи, реакції якої на зовнішню дію ми уявляємо, а внутрішню будову не знаємо і знати не бажаємо. Проте виявилось, що в багатьох цікавих та важливих випадках моделювання і за прагнення розібратись у ситуації без цього знання неможливо обійтись. Більше того, часто «чорний ящик» («когнітивна машина», «генератор хаосу») виникає сам по собі, без вказівок ззовні. Виникає завдяки колективній взаємодії елементів. При цьому самі елементи можуть бути достатньо простими. Такий погляд виявився плідним у моделюванні і соціально-економічної структури суспільства.

Уповільнення темпів зростання з 1970-х рр. та прогнозування стабілізації чисельності населення в майбутньому («демографічний перехід») зазвичай пояснюють загальносвітовим зростанням національного доходу та пов'язаними з ним успіхами освіти та охорони здоров'я у світі. Ця концепція екстраполює на всю планету специфічні умови високорозвинутих країн, які, утім, становлять менше від 20 % від її населення. Можна помітити, що демографічна політика більшості інших країн (державне обмеження народжуваності для запобігання голоду), яка обумовила динаміку, що спостерігається, непогано пояснює також і вповільнення приросту світового населення за зниження рівня життя на більшій частині планети, яке викликане глобалізацією. Треба зауважити, що питання про причини та перспективи демографічної динаміки, що спостерігається, політизоване та вимагає об'єктивного аналізу.

Приріст біологічної популяції за одиницю часу $\frac{\Delta P}{\Delta t}$ у сприятливих умовах пропорційний до першого степеня її чисельності P . Інтегрування цього простого рівняння дає експоненціальне зростання популяції, яке справді спостерігається, до включення мальтузіанських обмежувальних факторів (наприклад, перенаселення, нестача їжі, забруднення середовища):

$$\frac{dP}{dt} = kP, \quad (1)$$

так що
$$P = A \cdot \exp(kt), \quad (2)$$

де P — чисельність популяції, t — час. Замінивши в (1) лінійну залежність приросту від чисельності більш загальною степеневою залежністю і взявши $k = 1$, дістанемо

$$\frac{dP}{dt} = P^\alpha, \quad (3)$$

тому
$$P = \left(\frac{t}{\beta} + C\right)^\beta, \quad (4)$$

де $\beta = \frac{1}{1-\alpha}$, βC — константа інтегрування. Для $0 < \alpha < 1$ рівняння (4) відповідає параболічній, а для $\alpha > 1$ — розбіжній гіперболічній залежності $P(t)$. Отже, підставивши в праву частину рівняння (1) замість чисельності популяції P добуток $P \cdot X(P)$, де нова змінна X сама є зростаючою функцією від P , можна одразу дістати гіперболічне зростання популяції з часом, що доводиться розкладанням $X(P)$ у ряд Тейлора. Таку підстановку і зробив М. Кремер; при цьому P він назвав чисельністю населення Землі, а нову змінну X — рівнем технологій, який пропорційний чисельності населення, бо йому пропорційна кількість винахідників, які вдосконалюють технології. У своїй праці Кремер [28] прямо постулює вільне переміщення інформації й активне впровадження винаходів у населеній частині суші в усі часи починаючи з доісторичних з використанням функції Кобба—Дугласа, припускаючи вільне заміщення праці капіталом у весь зазначений період. Мальтузіанські фактори в праці [28] згадувались, але не враховувались, отже, регіони компактного мешкання людей в архаїчних державах фактично не розглядались як замкнені системи. Най-

більш дивною якістю моделі, що обговорюється, є її популярність серед істориків та економістів [27].

Крім спірності основних постулатів запропонована Кремером модель рівномірного гіперболічного зростання населення Землі також погано узгоджується з демографічними даними за окремими країнами. Населення великих суверенних держав, які аж до початку XIX ст. спиралися на власні ресурси, в історичному часі зростали нерівномірно. Надекспоненціальне (тобто гіперболічне) зростання відбувалося лише в окремі періоди тривалістю 100—150 років. Наприклад, в історії Англії такі періоди спостерігались у XV—XVII та XVIII—XIX ст. і в докапіталістичну епоху не супроводжувались адекватним такому зростанню технічним прогресом. Періоди швидкого зростання, як правило, збігалися з об'єднанням держав та зміцненням центральної влади за доступності ресурсів; надалі вони часто замінювалися стагнацією або регресом після включення мальтузіанських факторів — «внутрішня колонізація» середньовічної Європи з наступним перенаселенням.

Найбільш правдоподібним поясненням як локального, так і загальносвітового гіперболічного зростання людства в докапіталістичну епоху є швидке в масштабах історичного часу поліпшення умов життя людства в результаті укрупнення політичних суб'єктів, які складаються з територій компактного мешкання населення, або «господарчих доменів». Об'єднання маленьких ворогуючих князівств та зміцнення центральної влади в усіх регіонах світу знижували рівень насильства, тобто «соціальну температуру», зокрема, завдяки припиненню міжусобних воєн та зменшенню анархії на прикордонних територіях. Централізація керування також підвищувала ефективність урядових заходів з боротьби з епідеміями та голодом, що, безумовно, полегшувало життя та економічну діяльність у регіоні.

Механізм фізичної конденсації господарчих доменів пояснює як загальне гіперболічне зростання чисельності людства, так і його вповільнення в другій половині XX ст. Економічно вигідне укрупнення «територій порядку» у світі за останнє тисячоліття відбувалось у масштабах «повільного» історичного часу (кілька століть), супроводжуючись поступовим зниженням рівня насильства та полегшенням економічної діяльності. Інакше кажучи, поліпшення умов життя людей на кожному етапі об'єднання стимулювало більш швидкі (кілька десятиріч) процеси зростання населення; сама ж конденсація господарчих доменів визначає демографічну динаміку світу як її лімітувальна стадія. Уповільнення темпів зростання людства, яке спостерігається в три остан-

ні десятиріччя, поряд з загальним гальмуванням технічного та соціального розвитку, корелює зі стабілізацією більшості державних кордонів та глобальним об'єднанням економік, відображаючи завершення основного етапу конденсації у світовій системі.

Висновки

Отже, у даній статті зроблено спробу проаналізувати вплив, участь математики в процесах, що відбуваються у світі. Зокрема, розглянуто роль поняття стану системи та його стійкість у світлі сучасних проблем, пов'язаних з нестабільністю середовища. Досвід, нагромаджений математикою у власних дослідженнях, являє сприятливу базу для розроблення нових теорій як у самій математиці, так і в інших науках, у тому числі у філософії, що дасть можливість ясно уявити собі навколишній світ, по-новому осмислити те, що відбувається у наукових процесах. А єдиним критерієм цінності будь-якої науки визнається зменшення страждань людини.

Історія людства — така, якою вона була протягом багатьох сотень і тисяч років, — наближається до завершення. Усю попередню історію можна розглядати як своєрідний перехідний процес, який закінчується в наші дні. Протягом найближчих десятиріч сам феномен розвитку має зазнати радикальних змін. Найімовірніше, що може претендувати на роль рушійної пружини історії, — зростання чисельності населення. Людське суспільство — це складна нерівноважна система, що розвивається. Але незважаючи на її складність, є можливість її опису достатньо простими та відомими законами.

Одним з найбільш актуальних та перспективних напрямків сучасної науки є використання фізичних моделей у дослідженні різних аспектів діяльності людського суспільства. Прагнення інтерпретувати та моделювати суспільні процеси методами фізики ґрунтується на збіжності в поведінці системи N індивідуумів, що взаємодіють, з динамікою складних багаточастинкових систем. Сукупність великої кількості взаємозв'язаних агентів (індивідуумів, колективів, економічних та політичних суб'єктів), дії яких спрямовуються індивідуальними стратегіями, можна назвати соціальною системою. А перехід соціальної системи з одного структурованого стану (фази) з певними параметрами, які можна виміряти, в інший, можна розглядати як кризу. Характерною ознакою фазового переходу може служити саме гіперболічна залежність параметрів системи від інтенсивного керівного параметра поблизу критичної точки. Питання гіперболічного зростання чисельності населення розглядалося з 1960 року [27].

«Мозаїчний» механізм фазового переходу та загальний характер залежності стану системи від керівного параметра мало чутливі як до конкретного виду потенціалу взаємодій між частинками, так і до природи зовнішніх умов, що обмежують глибину перетворення фаз. Більш глибокі аналогії з фазовими переходами ґрунтуються на мозаїчній структурі великих соціальних систем та на масштабній інваріантності розмірів «соціальних доменів», яка встановлена в деяких суспільних та економічних дисциплінах (наприклад, закон Ципфа для чисельності населення міст або закон Парето для розподілу населення країни за добробутом). Крім того, для соціальних систем характерний рух тієї чи іншої «субстанції, яка наповнює» (товарів, грошей, людей) між доменами, зміна розмірів доменів, їх поділ або злиття. Також відомо, що кризові явища в економіці та суспільстві супроводжуються гіперболічним, тобто розбіжним, трендом деяких параметрів, що вимірюються об'єктивно (так званий «режим з загостренням»). Правомірно припустити, що з фізичної погляду хоча б деякі системи, зокрема економічні, в історичному масштабі часу перебувають здебільшого в околах обмежених фазових переходів із супутніми критичними явищами.

На жаль, аналогія між соціальними системами та «неживими» багаточастинковими не може бути повною, оскільки кількість частинок у звичайних макроскопічних системах, які добре описуються методами статистичної фізики, на 14 порядків більша від чисельності всього сучасного населення Землі. «Розумна», тобто вольова, діяльність агентів у соціальних ансамблях призводить до додаткового підвищення шуму і до виникнення спонтанних кореляцій, тобто «стадної поведінки». Тому системи з N агентів, що моделюють соціальні процеси, неможливо вважати повністю макроскопічними, вони, скоріше, споріднені з нанорозмірними атомними та молекулярними агрегатами, для яких характерні великі варіації інтегральних параметрів та сильний вплив граничних ефектів. Замість одного рівноважного, або стаціонарного, стану, який постулюється в класичних економічних теоріях, у таких системах може виникати набір близьких за стійкістю метастабільних станів, які задаються зовнішніми параметрами [29], з можливістю переходу з одного стану в інший під дією флуктуацій.

Отже, аналогії з фазовими переходами найліпше виявляються для великих (глобальних) соціальних систем, що потребують уточнення та аналізу в кожному конкретному випадку. Для побудови фізично обґрунтованої теорії треба враховувати дисипативний ха-

рактер процесів, які відбуваються у великій історичній системі «людство на Землі», компонентами якої є будь-які соціальні системи і яка зазнає дії геофізичних та космічних факторів.

Література

1. Арнольд В. И. Обыкновенные дифференциальные уравнения / В. И. Арнольд. — М. : Наука, 1986. — 240 с.
2. Аскин Я. Ф. Проблема времени / Я. Ф. Аскин. — М. : Мысль, 1966. — С. 200.
3. Баженов Л. Б. Проблема причинности / Л. Б. Баженов // Философия естествознания. — 1965. — 242 с.
4. Вейль Г. Симметрия / Г. Вейль. — М. : Наука, 1966. — С. 192.
5. Винер Н. Я — математик / Н. Винер. — М., 1964. — С. 363.
6. Гегель Г. В. Ф. Наука логики / Г. В. Ф. Гегель // Энциклопедия филос. наук. — М. : Мысль, 1974. — Т. 1. — С. 452.
7. Гейзенберг В. Физика и философия. Часть и целое / В. Гейзенберг ; пер. с нем. — М. : Наука; Гл. ред. физ.-мат. лит., 1963. — С. 400.
8. Демидов В. И. Категория «состояние» в истории и марксистской философии / В. И. Демидов. — Саранск : Мордов. книжное узд-во, 1975. — С. 104.
9. Заде Л. Понятие состояния в теории систем / Л. Заде // Общая теория систем : сб. докл. — М. : Мир, 1966. — С. 49.
10. Кант И. Сочинения : в 3 т. / И. Кант. — М. : Мысль, 1964. — Т. 3. — С. 799.
11. Курдюмов С. П. Интервью журналу «Вопросы философии» / С. П. Курдюмов // Вопросы философии. — 1991. — № 6. — С. 57.
12. Маркс К. Математические рукописи / К. Маркс. — М. : Наука, 1968. — С. 640.
13. Мигдал Б. Физика и философия / Б. Мигдал // Вопросы философии. — 1990. — № 1. — С. 5—32.
14. Пригожин И. Философия нестабильности / И. Пригожин // Вопросы философии. — 1991. — № 6.
15. Свечников Г. А. Причинность и связь состояния в физике / Г. А. Свечников. — М. : Наука, 1971. — С. 304.
16. Симанов А. А. К определению понятия состояния / А. А. Симанов. — М., 1965.
17. Старжинский В. П. Понятие «состояние» и его методологическая роль в физике / В. П. Старжинский. — Мн : Наука и техника, 1979. — С. 88.
18. Фихтенгольц Г. Курс дифференциального и интегрального исчисления : учеб. для студ. физ. и мех.-мат. спец. вузов. — В 3 т. / Г. Фихтенгольц. — 8-е изд. — М. : Физматлит, 2001. — Т. 1. — С. 679.
19. Гнеденко В. П. Теория вероятности / В. П. Гнеденко. — М. : Наука, 1969. — С. 400.
20. Михайлов Ф. А. Теория и методы исследования нестационарных линейных систем / Ф. А. Михайлов. — М. : Наука, 1986. — С. 320.

21. Чернов В. И. Анализ философских понятий (Некоторые вопросы теории) / В. И. Чернов. — М. : Наука, 1966. — С. 214.
22. «Философские науки» № 1 — 12, 1989, 1990, 1991
23. Эйнштейн А. Собр. науч. тр. : в 4 т. — Т. 4. Статьи, рецензии, письма. Эволюция физики / А. Эйнштейн. — М., 1967. — С. 579.
24. Джалладова І. А. Оптимізація стохастичних систем / І. А. Джалладова. — К. : КНЕУ, 2006. — 284 с.
25. Хейл Дж. Колебания в нелинейных системах / Дж. Хейл. — М. : Изд. иностр. лит., 1966. — С. 229.
26. Аристотель. Метафизика : соч. — В 4 т. / Аристотель ; пер. с древнегреч. — М. : Мысль, 1976—1984. — Т. 1. — С. 63—368.
27. Капица С. П. Общая теория роста человечества / С. П. Капица. — М. : Наука, 1999. — С. 190.
28. Cremer M. Population growth and technological change: one million B. C. to 1990 / M. Cremer // Quart. J. Econ. — 1993. — Vol. 108. — P. 682—716.
29. Чернавский Д. С. О проблемах физической экономики / Д. С. Чернавский, Н. И. Старков, А. В. Щербаков // Усп. физ. наук. — 2002. — Т. 172. — С. 339—361.

Стаття надійшла до редакції 7.09.2011 р.

УДК 519.86:378

В. В. Дем'яненко, канд. екон. наук,
доцент кафедри інформаційного менеджменту,
ДВНЗ «Київський національний економічний університет
імені Вадима Гетьмана»,
Л. М. Івашко, викладач кафедри економічної кібернетики,
Одеський державний економічний університет

МОДЕЛЬ МАКСИМІЗАЦІЇ ЯКОСТІ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ НАВЧАЛЬНОГО ПРОЦЕСУ

АНОТАЦІЯ. Розроблено економіко-математичну модель максимізації якості освітніх послуг. При застосуванні даної моделі щодо визначення якості послуг інформаційної системи маємо можливість отримати такий її варіант, що не тільки забезпечує найвищу якість освітніх послуг ВНЗ, але й оптимальну структуру цієї системи.

ANNOTATION. Economic-mathematical model for maximizing the quality of educational services was developed. If this model is applied for identifying the service quality of the informational system we can obtain a modification of the system that will not only provide for the best quality of the educational services at the University, but also the optimal structure of the respective system.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: інформаційна система, навчальний процес, інформаційне забезпечення, програмне забезпечення, якість освітніх послуг.