

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЧЕРНІГІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»**

# **ОСНОВИ ТЕОРІЇ СИСТЕМ**

**ТЕКСТИ ЛЕКЦІЙ**

для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти  
спеціальності 051 «Економіка»  
всіх форм навчання

Обговорено і рекомендовано  
на засіданні кафедри економіки,  
обліку і оподаткування  
Протокол №18  
від 05.12.2023 р.

**Чернігів 2023**

**Основи теорії систем.** Тексти лекцій для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 051 «Економіка» всіх форм навчання / Укладачі: Мініна О.В., Дерій Ж.В., Шадура-Никипорець Н.Т. – Чернігів: НУ «Чернігівська політехніка», 2023. – 81 с.

Укладачі: Мініна Оксана Валеріївна, кандидат економічних наук, доцент  
Дерій Жанна Володимирівна, доктор економічних наук, професор  
Шадура-Никипорець Наталія Тимофіївна, кандидат економічних наук, доцент

Відповідальний за випуск: Дерій Жанна Володимирівна, завідувач кафедри економіки, обліку і оподаткування, доктор економічних наук, професор

Рецензент: Іванова Наталія Володимирівна, доктор економічних наук, професор, завідувачка кафедри підприємництва і торгівлі НУ «Чернігівська політехніка»

## ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА .....	4
Тема 1. Змістовна сутність системи .....	5
1 Поняття системи та її властивості.....	5
2 Зовнішнє середовище системи .....	7
3 Класифікація систем .....	8
Тема 2. Будова і функціонування системи .....	13
1 Елементи, підсистеми, надсистеми, їх характеристики.....	13
2 Системоутворюючі фактори.....	15
3 Структура системи.....	16
Тема 3. Розвиток, самовідтворення і саморуйнування систем .....	20
1 Поняття і зміст розвитку системи .....	20
2 Порядок і хаос .....	23
3 Самовідтворення і самодеструкція систем .....	26
4 Взаємозв'язок процесів самовідтворення і саморуйнування систем .....	29
Тема 4. Механізми забезпечення стійкості систем .....	31
1 Механізм зворотного зв'язку .....	31
2 Механізми негативного зворотного зв'язку.....	34
3 Механізми позитивного зворотного зв'язку .....	40
4 Механізми зворотного зв'язку в природі та суспільстві .....	43
Тема 5. Характеристики стійкості систем .....	45
1 Витривалість системи.....	45
2 Толерантність і резистентність.....	47
3 Стабільність та стійкість системи .....	49
Тема 6. Мінливість систем: фактори та механізми трансформації .....	51
1 Сутність і види трансформаційних механізмів.....	51
2 Особливості біфуркаційних механізмів .....	53
3 Основні характеристики трансформації.....	54
Тема 7. Відображення систем наукою. Моделювання систем .....	60
1 Наукове пізнання і моделювання. Модель як метод описування системи...	60
2 Класифікація моделей. Моделі складу та структури системи .....	63
3 Методи моделювання систем .....	64
4 Особливості моделювання соціально-економічних систем .....	67
Тема 8. Системний підхід і системний аналіз .....	69
1 Поняття системного підходу, його основні риси і принципи .....	69
2 Сутність та етапи системного аналізу .....	71
3 Методи системного аналізу .....	76
РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА .....	80
Додаток А .....	81

## ПЕРЕДМОВА

На початку 20-х років ХХ століття молодий біолог Людвіг фон Берталанфі почав вивчати організми як певні системи, узагальнивши свій погляд у книзі “Сучасна теорія розвитку” (1929). У цій книзі він розробив системний підхід до вивчення біологічних організмів. У книзі “Роботи, люди і свідомість” (1967) він переніс загальну теорію систем на аналіз процесів і явищ суспільного життя. 1969 – “Загальна теорія систем”. Берталанфі перетворює свою теорію систем на загальнодисциплінарну науку.

Згодом, завдяки працям таких учених, як Н. Вінер, У. Ешбі, У. Мак-Куллох, Г. Бейтсон, Ст. Бір, Г. Хакен, Р. Акофф, Дж. Форрестер, М. Месарович, С. Никаноров, І. Пригожин, В. Турчин виник цілий ряд суміжних із загальною теорією систем напрямків – кібернетика, синергетика, теорія самоорганізації, теорія хаосу, системотехніка та ін. (рис. 1).

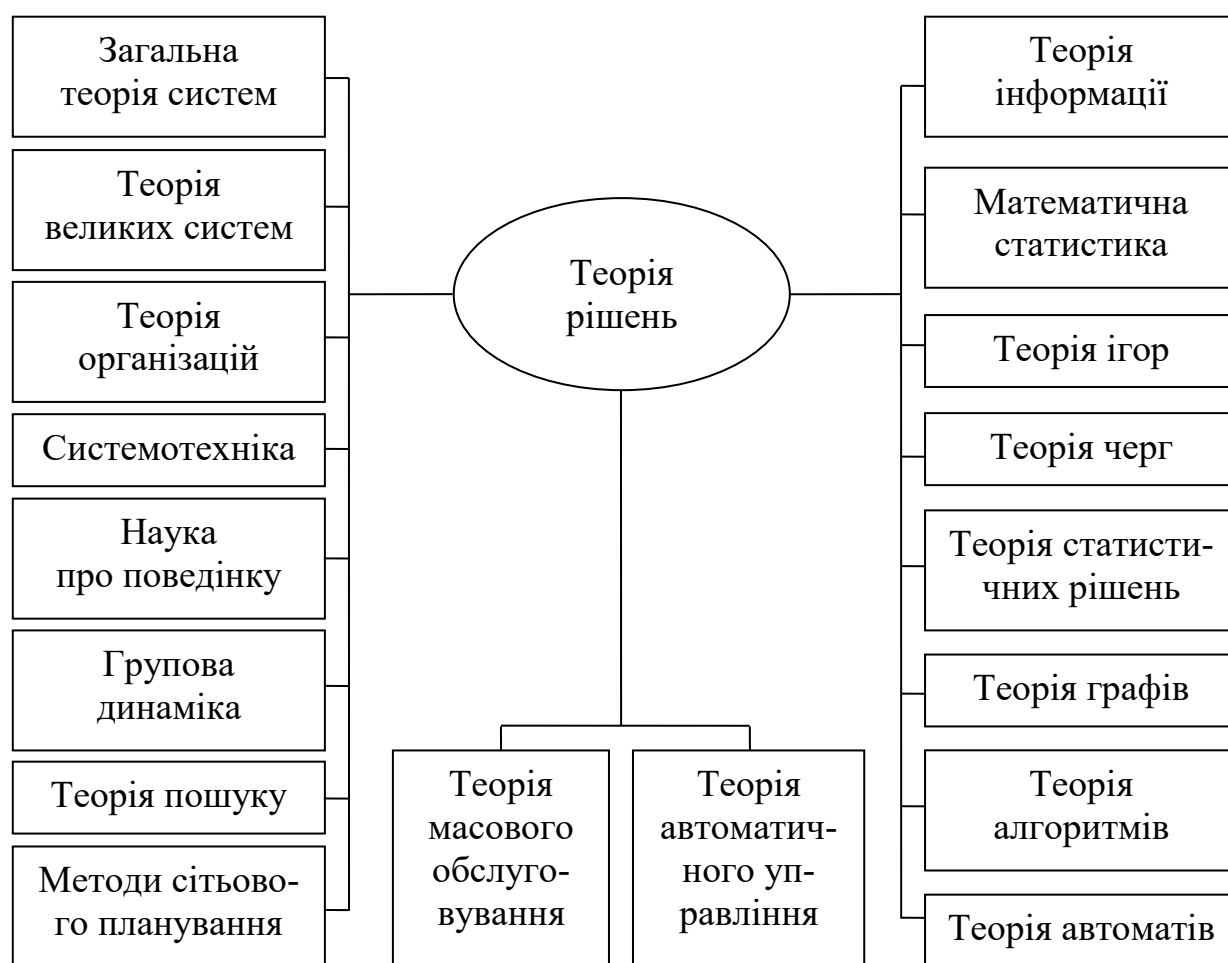


Рисунок 1 – Взаємозв’язок системних концепцій і теорій

Системне мислення є загальним навиком, необхідним всім фахівцям, які беруть участь у колективній роботі по виконанню складних проектів, воно лежить в основі діяльності системних інженерів, менеджерів, економістів, технологічних підприємців та інших фахівців. Знання та навички системного мислення незамінні для вибудовування міждисциплінарної роботи і дозволяють ефективно спілкуватися на загальній для всіх системній мові.

## Тема 1. Змістовна сутність системи

1. Поняття системи та її властивості.
2. Зовнішнє середовище системи.
3. Класифікація систем.

### 1 Поняття системи та її властивості

Поняття *розвитку* нерозривно пов'язане з поняттям *системи*. Якщо щось і здатне розвиватися, воно обов'язково є системою. Все в світі: від найдрібніших частинок до мегакосмічних утворень – є системами. Система (від грец. *systema* – ціле, складене з частин) – одне з найдавніших наукових понять, що використовувалося задовго до Аристотеля і Платона. Античне визначення, мабуть, найбільш лаконічно і точно відображає сутність даної категорії: *система – ціле, більше суми його частин*.

У наші дні існує багато підходів до пояснення поняття системи, що дозволяють сформулювати її визначення. У найбільш загальному розумінні *система* – будь-яка сукупність елементів (підсистем), об'єднаних між собою в єдине ціле процесами взаємодії для реалізації загальної функції.

Потреба у використанні терміну “система” виникає в тих випадках, коли потрібно підкреслити, що *щось* є великим, складним, не повністю одразу зрозумілим, при цьому цілим, єдиним. На відміну від понять “множина”, “сукупність” поняття системи підкреслює упорядкованість, цілісність, наявність закономірностей побудови, функціонування і розвитку.

Систему визначають також як комплекс елементів та їхніх властивостей, взаємодія між якими зумовлює *якісно нову цілісність*. Один з основоположників загальної теорії систем Л. фон Берталанфі запропонував таке формулювання: “система – це комплекс взаємопов'язаних елементів, що утворюють цілісність”.

Сутність системи можна краще зрозуміти, якщо познайомитися з її найважливішими *властивостями*:

- *цілісність* – система сприймається як єдине ціле, тобто сукупність окремих елементів, об'єднаних між собою взаємними зв'язками;
- *функціональність* – елементи об'єднуються в цілісну, системну єдність завдяки виконанню ними єдиної функції або єдиних функцій;
- *когерентність* – між елементами всередині системи існує тісний взаємозв'язок, причому він міцніший, ніж зв'язки елементів із зовнішнім середовищем, що забезпечує системі самозбереження і виживання;
- *емерджентність* (або *неадитивність*) – системне ціле має властивості, не притаманні його підсистемам. Властивості системи хоча і залежать від властивостей її елементів, але не визначаються ними повністю. Функціонування системи не може бути зведено до функціонування окремих її компонентів. Сукупне функціонування взаємозв'язаних елементів системи породжує якісно нові її функціональні властивості. Звідси випливає важливий висновок: система не зводиться до простої сукупності елементів, тому, розділяючи її на частини, досліджуючи кожен з них окремо, неможливо пізнати всі властивості системи за-

галом. Цю властивість ще називають *системною* або *інтегративною*.

Емерджентність є результатом виникнення між елементами системи так званих *синергетичних зв'язків*, які забезпечують більший загальний ефект функціонування системи, ніж сума ефектів елементів системи, що діють незалежно.

Для більш повного сприйняття і розуміння сутності системи зазначену сукупність властивостей доповнюють *істотними ознаками її поведінки*:

- поведінка кожного елемента впливає на поведінку цілого;
- поведінка елементів і їх вплив на ціле взаємопов'язані;
- якщо існують підгрупи елементів, то кожна з них впливає на поведінку цілого і жодна з них не має такого впливу незалежно від інших;
- кожна частина системи має ті якості, які втрачаються, якщо її відокремити від системи;
- істотні властивості системи, взятої як ціле, впливають із взаємодії її частин, а не з їх дій, взятих окремо; з цієї причини – і це головне – “*система є ціле, яке не можна зрозуміти за допомогою аналізу*”.

Краще усвідомити всі визначені властивості й ознаки системи можна на прикладі підприємства:

– *підприємство є більш складною сутністю, ніж сума його підсистем* (цехів, управлінь, служб, підрозділів), оскільки воно має властивості, які відсутні у названих складових, а саме – має право юридичної особи (і, відповідно, цілий ряд прав і обов'язків), фірмові ідентифікаційні ознаки, що відрізняють підприємство від інших (назву, торгову марку тощо), можливості випуску і реалізації кінцевої продукції – всім цим не володіють його структурні одиниці;

– *поведінка кожної підсистеми підприємства впливає в цілому на всю його поведінку*, наприклад, недовіки в роботі лише однієї ланки корпорації “Тойота” змусили відкликати з ринку (через недовіки в системі гальмування) понад один мільйон проданих автомобілів, що заподіяло істотну шкоду іміджу фірми і зумовило внесення змін до стратегії розвитку і тактичних планів корпорації;

– *підрозділи підприємства в своїй поведінці взаємопов'язані один з одним* – збої в системі реалізації продукції ведуть до затоварення складів і змушують пригальмовувати процеси виробництва продукції; проблеми у постачальників із забезпеченням певним видом сировини змушують технологів шукати шляхи переходу на інші види ресурсів і т.д.;

– *кожна структурна одиниця підприємства втрачає свої властивості за його межами* – будь-який підрозділ підприємства спеціалізується на виконанні певних функцій і якщо він припинить своє існування, то відпаде і необхідність у виконанні цих функцій, а з ними зникнуть і характерні їх особливості: заготівельний цех перестає бути заготівельним, ливарний – ливарним тощо.

Сказане дозволяє зрозуміти, чому сучасні економісти визначили систему як рівність:  $2 + 2 = 5$ .

Застосування сукупності знань про систему в процесі наукового дослідження передбачає дотримання наступних *системних принципів*:

1) *цілісність* – принципова незведеність властивостей системи до суми властивостей елементів, що її складають, і неможливість виведення з останніх властивостей цілого, залежність кожного елемента від його місця, ролі, функцій тощо в межах системи;

2) *структурність* – можливості опису системи через встановлення її структури, тобто зв'язків і відношень елементів, обумовленість поведінки системи не стільки поведінкою окремих елементів, скільки властивостями її структури;

3) *взаємозалежність структури і середовища* – система формує і виявляє свої властивості в процесі взаємодії із зовнішнім середовищем, при цьому вона є провідним активним компонентом цієї взаємодії;

4) *ієрархічність* – кожен компонент системи, відповідно, може розглядатись як система, а досліджувана система – як один з компонентів ширшої, глобальнішої системи;

5) *множинність опису кожної системи* – внаслідок принципової складності кожної системи її адекватне пізнання потребує побудови множини різних моделей, кожна з яких описує лише один аспект системи.

## 2 Зовнішнє середовище системи

Для свого розвитку будь-яка система має “вирішити” дві принципові проблеми. По-перше, вона повинна десь брати енергію; по-друге, бути внутрішньо певним чином структурованою (організованою). Ця організація покликана забезпечити здатність накопичувати, закріплювати і перетворювати енергію. Все це потрібно, в кінцевому рахунку, для здійснення *необоротних, спрямованих і закономірних змін*, які називаються *розвитком*. Шлях вирішення першої проблеми очевидний. Система повинна бути *відкритою*, тобто мати обмін – *метаболізм* – із зовнішнім середовищем. Тільки звідти система може забезпечити приплив енергії.

*Зовнішнє середовище* – це все те, що знаходиться зовні системи, поза її межами, включаючи необхідні умови для її існування та розвитку. Воно складається з багатьох природних, суспільних, інформаційних, економічних, виробничих та інших факторів, які впливають на систему та й самі певною мірою перебувають під впливом цієї системи.

Продовжуючи приклад з підприємством, слід зазначити, що відкритість відіграє ключову роль в його діяльності. Саме зовнішнє середовище виконує *функції*, без яких підприємство не може існувати:

- середовище є *матеріально-інформаційним простором* для фізичного існування підприємства, причому характеристики навколишнього середовища повинні задовольняти необхідним умовам такого існування;

- в середовищі підприємство знаходить *споживачів* своєї продукції – продаючи її, підприємство отримує ту частину вільних коштів покупців, яка фактично є аналогом вільної енергії для подальшого функціонування і розвитку підприємства;

- середовище слугує *каналом відтоку власних вільних коштів* у формі платежів, зборів, податків, корупційних та рекетних витрат – вони йдуть від підприємства до постачальників ресурсів і різних послуг, а натомість підприємство отримує необхідні для своєї роботи ресурси, умови функціонування, гарантії безпеки тощо;

- середовище слугує *місцем видалення* (складування, поховання) і *активним реактором для нейтралізації* (очищення) *відходів* підприємства.

Система може взаємодіяти із середовищем через:

- *призначення*, тобто, якщо призначення системи несумісне з середовищем, то необхідно або модифікувати призначення, або модифікувати систему та пристосувати її до середовища;

- *побудову*, тобто компоненти системи повинні гармонійно взаємодіяти як між собою, так і з середовищем;

• *оцінку*, тобто рівень сумісності системи з середовищем, ефективність реалізації її призначення, можливість реалізації додаткових цілей.

Взаємодія між системою та зовнішнім середовищем здійснюється за допомогою входів і виходів.

**Вхід системи** – це дія на неї зовнішнього середовища, **вихід системи** – це результат її функціонування для досягнення певної мети або її реакція на вплив зовнішнього середовища.

Загальна кількість взаємодій системи із зовнішнім середовищем дуже велика, тому на практиці та в процесі наукового дослідження обмежуються аналізом найсуттєвіших зв'язків, вибір яких визначається конкретними умовами управління тим чи іншим об'єктом. При дослідженні взаємодії системи із зовнішнім середовищем широко застосовується кібернетична ідея “чорної скрині” (рис. 1.1).



Рисунок 1.1 – Модель системи на основі принципу “чорна скриня”

Ця максимально спрощена модель відображає дві важливі властивості системи – цілісність і відокремленість від середовища. Однак система не є ізольованою від зовнішнього середовища, а пов'язана з ним зв'язками, через які здійснює певний вплив, реалізуючи своє призначення, мету (виходи системи). Крім цього, повинні існувати зв'язки іншого типу, що забезпечують її використання, тобто дію на систему з боку середовища (входи системи).

Назва “чорна скриня” образно підкреслює повну відсутність інформації про внутрішню будову системи, в цій моделі фіксуються лише входні та вихідні зв'язки з середовищем.

### 3 Класифікація систем

Класифікація систем передбачає їх поділ на матеріальні та абстрактні (рис. 1.2). **Матеріальні системи** є реальними об'єктами, що існують у реальному часі. Вони поділяються на природні і штучні. **Природні системи** – це сукупність об'єктів природи, а **штучні** – організаційно-економічних або технічних об'єктів. До природних систем належать астрокосмічні, планетарні, фізичні, хімічні тощо.

За ступенем участі людини штучні системи поділяються на **технічні**, в основу функціонування яких покладено процеси, що здійснюються машинами, та **організаційно-економічні**, котрі функціонують як людино-машинні комплекси.



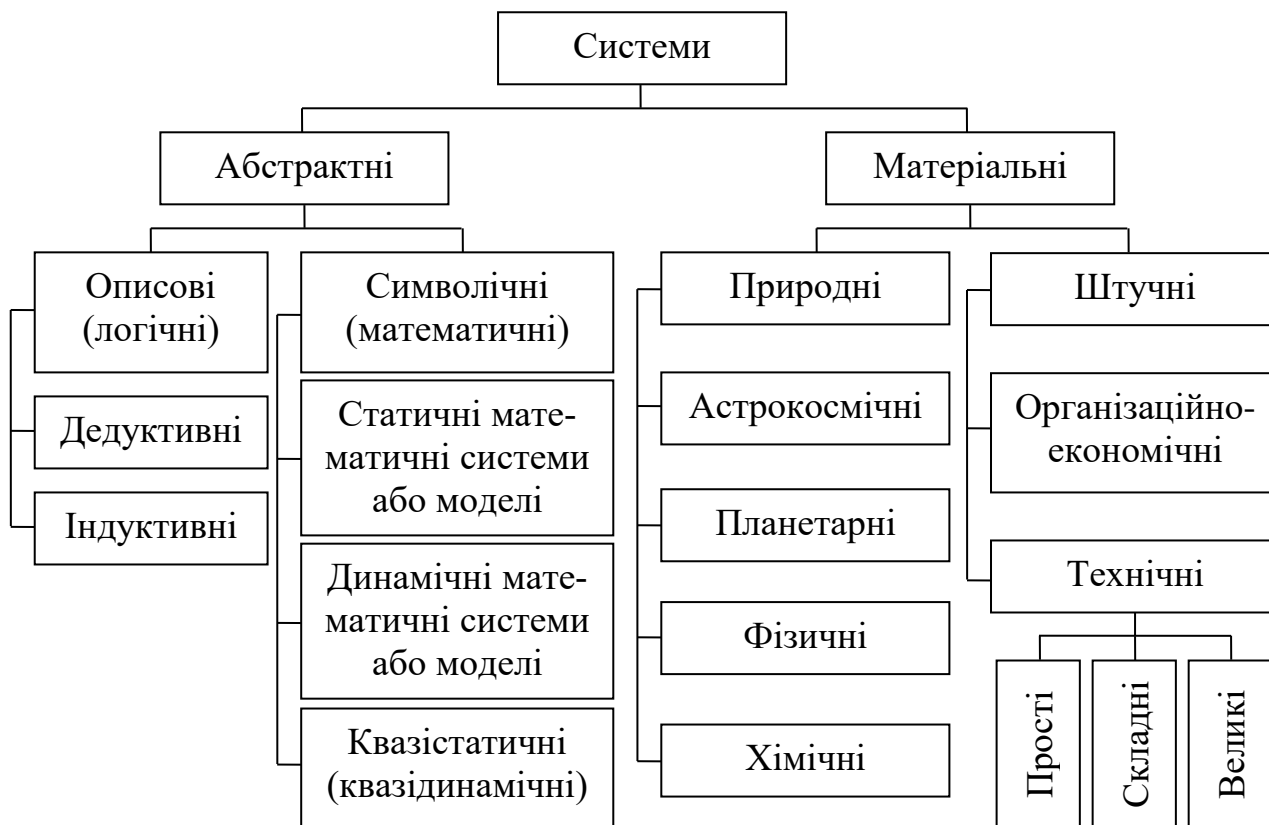


Рисунок 1.2 – Класифікація систем

**Абстрактні системи** – це розумово-зорові уявлення, зображення або моделі матеріальних систем, які поділяються на логічні (описові) та символічні (математичні).

**Логічні системи** є результатом дедуктивного або індуктивного представлення матеріальних систем. Їх можна розглядати як системи понять і визначень (сукупність уявлень) про структуру, стан та основні закономірності зміни стану (динаміки) матеріальних систем.

**Символічні системи** є формалізацією<sup>1</sup> логічних систем. Вони поділяються на три класи:

1) статичні математичні системи або моделі, котрі можна розглядати як опис засобами математичного апарату стану матеріальних систем (моделі стану);

2) динамічні математичні системи або моделі, котрі можна розглядати як математичну формалізацію процесів розвитку матеріальних (або абстрактних) систем;

3) квазістатичні (квазідинамічні)<sup>2</sup> системи, що знаходяться в нестійкому положенні між статикою та динамікою і при одних впливах поведуть себе як статичні, а при інших – як динамічні.

В літературі наводяться й інші класифікації систем. Так, проф. Ю. Черняк пропонує наступний поділ систем:

<sup>1</sup> **Формалізація** – це вид знакового моделювання, за допомогою якого суть досліджуваного предмету чи явища фіксується, передається знаком або комбінацією знаків і, що найголовніше, до цієї комбінації знаків ставляться як до самого предмету чи явища.

<sup>2</sup> **Квазі-** – при додаванні до різних частин мови утворює слова зі значенням хибності, удаваності.

1. **Велика система (ВС)** – це система, яку не можна спостерігати одночасно з позиції одного спостерігача (С) або в часі, або в просторі. В таких випадках система розглядається послідовно по частинах (підсистемах) із поступовим переміщенням з нижчого на вищий рівень.

2. **Складна система (СС)** – це система, що складається з безлічі взаємодіючих складових, внаслідок чого вона набуває нових властивостей, які відсутні на рівні підсистем і не можуть бути зведені до властивостей підсистемного рівня. До категорії складних систем, перш за все, слід віднести живі організми.

Для вивчення *великої системи* необхідний один спостерігач  $C_1$  (мається на увазі не число людей, що беруть участь в дослідженні або проектуванні системи, а відносна однорідність їх кваліфікації) (рис. 1.3). Це може бути, наприклад, або інженер, або економіст, або соціолог і тому подібне. Тому велика система може бути описана як би на одній мові, тобто за допомогою єдиного методу моделювання, хоча і по частинах, підсистемах.

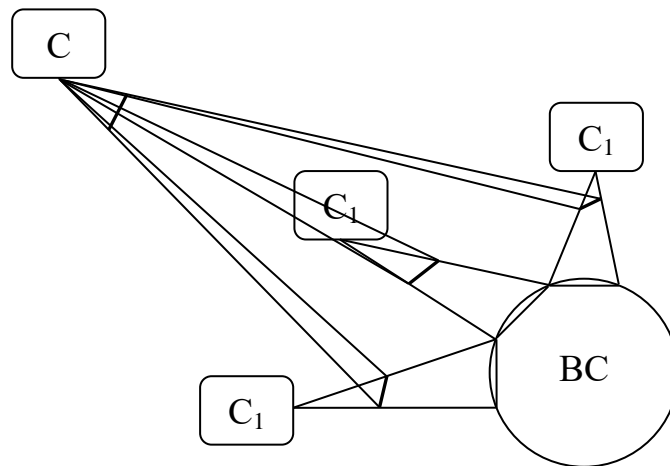


Рисунок 1.3 – Схема великої системи (ВС)

Для вивчення *складної системи* необхідно декілька спостерігачів ( $C_1, C_2, C_3, \dots, C_n$ ) принципово різної кваліфікації (рис. 1.4). Наприклад, інженер, програміст, обчислювач, економіст, а можливо і юрист, психолог тощо. Модель складної системи формується з безлічі блоків (елементів з прихованою від зовнішнього спостерігача внутрішньою структурою), що взаємодіють між собою через функціональні зв'язки між видимими ззовні змінними.

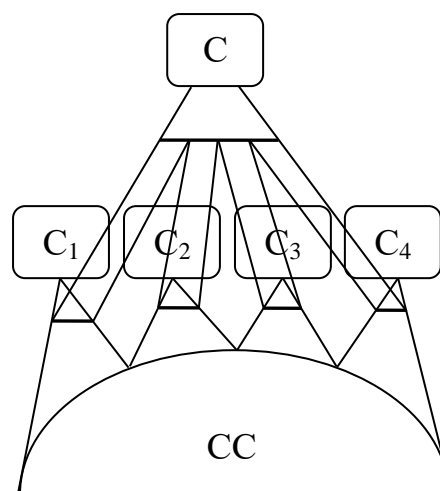


Рисунок 1.4 – Схема складної системи (СС)

3. **Динамічна система (ДС)** – це система, що постійно змінюється. Будь-яка зміна, що відбувається в системі, називається **процесом**. Його іноді визначають як перетворення входу системи на вихід. Якщо система характеризується одним варіантом поведінки (розвитку), її називають **детермінованою**<sup>3</sup>. **Імовірнісна система** – це система, поведінку якої можна передбачити з певним рівнем (ступенем) імовірності на основі дослідження її минулої поведінки.

Динамічні системи характеризуються наступними **властивостями**:

- **рівновага** – здатність повертатися до початкового стану (початкової поведінки), компенсуючи вплив зовнішнього середовища;
- **самоорганізація** – здатність відновлювати свою структуру або поведінку для компенсації зовнішнього впливу, а також змінювати їх, пристосовуючись до умов оточуючого середовища;
- **інваріантність поведінки** – те, що залишається в поведінці системи незмінним у будь-який відрізок часу.

4. **Кібернетична або керуюча система (КС)** – це система, за допомогою якої здійснюються процеси управління в технічних, біологічних, економічних і соціальних системах. Центральним поняттям в цьому випадку є **інформація** як засіб впливу на поведінку системи.

5. При вивченні економічних, організаційних об'єктів важливо виділяти клас цілеспрямованих систем. **Цілеспрямована система (ЦС)** – це система, яка продовжує переслідувати одну і ту ж мету, змінюючи свою поведінку при зміні зовнішніх умов. Суттєвою особливістю таких систем є їхня здатність отримувати однакові результати різними способами. Системи цього класу можуть змінювати свої завдання, вони вибирають як самі завдання, так і способи і засоби їх реалізації. У цьому класі, у свою чергу, можна виділити системи, в яких **цілі задаються ззовні** (зазвичай це має місце в закритих системах), і системи, в яких **цілі формуються всередині системи** (що характерно для відкритих, самоорганізованих систем).

Одна з відомих емпіричних класифікацій запропонована Ст. Біром (табл. 1.1). В її основі лежить поєднання ступеня детермінованості системи і рівня її складності.

Незважаючи на явну практичну цінність класифікації Ст. Біра, відзначаються і її недоліки. По-перше, критерії виділення типів систем не визначені однозначно. Наприклад, виділяючи складні і дуже складні системи, автор не вказує, стосовно яких саме засобів і цілей визначається можливість і неможливість точного і докладного опису. По-друге, не показується, для вирішення яких саме завдань виявляється необхідним і достатнім знання саме запропонованих типів систем. Такі зауваження по суті характерні для всіх довільних класифікацій.

<sup>3</sup> **Детермінований** – викликаний, обумовлений. Слово “детермінувати” походить від англійського *determine* – визначати. У ньому чітко відчувається “силовий” компонент. В українській мові ця жорсткість не дуже відчувається, але в оригінальній мові є слово *determination* – дуже сильне бажання зробити ту чи іншу дію, непохитна рішучість. Детермінований – це значить жорстко визначений.

Таблиця 1.1 – Емпірична класифікація систем Ст. Біра

Системи	Прості (складаються з невеликої кількості елементів)	Складні (досить розгалужені, але піддаються опису)	Дуже складні (які не піддаються точному опису)
Детерміновані	Віконна засувка Проект механічних майстерень	Комп'ютер Автоматизація	
Імовірнісні	Підкидання монети Рух медузи Статистичний контроль якості продукції	Зберігання запасів Умовні рефлексії Прибуток промислового підприємства	Економіка Мозок Фірма

На сьогодні існує велика кількість класифікацій систем, кожна з яких має свої недоліки і переваги. Вибір підходу до класифікації залежить від цілей, запитів і вимог дослідника.

## Тема 2. Будова і функціонування системи

1. Елементи, підсистеми, надсистеми, їх характеристики.
2. Системоутворюючі фактори.
3. Структура системи.

### 1 Елементи, підсистеми, надсистеми, їх характеристики

Щоб зрозуміти, що таке система, недостатньо знати її властивості, основні риси поведінки і зв'язки із зовнішнім середовищем – важливо також дослідити її внутрішню будову.

Вивчаючи будову системи, слід починати з її найпростішої частинки – елемента, – рухаючись до більш складних. **Елемент** – межа членування системи з точки зору аспекту розгляду, вирішення конкретного завдання, поставленої мети. Поняття “елемент системи” застосовується в системних дослідженнях для визначення способу відділення частини від цілого. Граничну здатність системи до поділу визначає характер конкретного завдання, на виконання якого спрямована система.

Пару термінів “елементи” – “компоненти” зазвичай використовують як синоніми. Однак, строго кажучи, поняття “компонент” є більш загальним, ніж “елемент”. Воно може означати як елемент, так і підсистему або інше утворення з елементів.

*Характеристика елементів системи:*

1. Елемент виступає структуротворчою частиною будь-якої системи (наприклад, підприємство є складовою якоїсь галузі виробництва, з одного боку, і складається з цехів та служб – з іншого).

2. Елементу притаманні такі властивості, які будуть використовуватися системою або є потенційними для функціонального використання. Кожна властивість елемента може бути умовою для залучення елемента до системи.

3. Властивості елементів визначають їх місце у внутрішній організації системи. Елементи розвиваються в рамках системи і підкоряються умовам її функціонування, змінюючись у процесі розвитку системи або під впливом управлінської дії.

4. Цілі системи визначають конкретну форму існування елементів як її (системи) частки. Тобто, структурна автономність кожного елемента – одна з ознак елемента системи.

5. Елементи взаємопов'язані між собою. Свою функцію, своє призначення елемент може виконати лише за умови, що буде взаємодіяти з іншими елементами.

6. Взаємодія буде тим краща, чим упорядкованішими будуть взаємозв'язки елементів.

Кожну систему можна подати як сукупність підсистем. **Підсистема** – це набір елементів, що виступає автономним об'єднанням всередині системи й відзначається структурною цілісністю, наявністю підцілей функціонування та комунікативним зв'язком з іншими підсистемами чи окремими елементами системи. Можливість поділу системи на підсистеми пов'язана з виокремленням

елементів, здатних виконувати відносно незалежні функції й спрямованих на досягнення загальної мети системи.

*Основі вимоги до підсистем:*

- 1) повинні впливати на досягнення кінцевих результатів;
- 2) мають формуватися за ознаками, які виявляють функціональний зв'язок між ними і системою в цілому;
- 3) повинні бути пов'язані з діями всіх інших елементів системи та відображати взаємозв'язки, встановлені для окремих елементів системи через її підсистеми із зовнішнім середовищем;
- 4) мають об'єднувати у собі менші підсистеми;
- 5) повинні прив'язуватися до всієї системи за допомогою встановлених відносин кожної частини до тієї чи іншої характеристики, що має функціональний зв'язок з виконанням загальносистемних завдань.

Виділення підсистем залежить від типу системи, мети та механізмів її дослідження (наприклад, підсистема основного виробництва, підсистема збуту).

У найбільш загальному вигляді можна виділити такі *основні підсистеми підприємства:*

**управлінська** – забезпечує процес прийняття рішень, організацію цілеспрямованої, узгодженої роботи всіх ланок або підрозділів підприємства для отримання визначених результатів;

**технологічна** – підсистема, яка забезпечує розподіл процесу виробництва на окремі логічні стадії та процеси;

**технічна** – взаємопов'язаний, функціонально обумовлений комплекс обладнання підприємства, який забезпечує прикладне виконання поставлених завдань;

**виробнича** – об'єднує технічні і технологічні підсистеми, а також трудовий і сировинний потенціал, що у сукупності спрямовуються на вирішення поставлених завдань.

Систему вищого рівня ієрархії, ширшу, глобальну, в яку досліджувана система входить як складова частина, називають **надсистемою**.

Надсистеми визначають цілі і завдання системи. Якщо надсистема деструктивна (руйнівна), то і системи в ній будуть розвиватися за її законами, руйнуючись, якщо ж конструктивна, то навпаки. Таким чином, від вибору надсистеми істотно залежать якості самої системи, оскільки саме надсистема задає програму і умови розвитку своїх підсистем. Однак при цьому система залежить і від якості своїх підсистем.

Розглянемо визначені поняття на прикладах.

У всіх вдома є холодильник? Це один з представників нашого побутового обладнання, що забезпечує нам зручності і комфорт. Його завдання – підтримуючи певну низьку температуру, подовжувати термін зберігання продуктів. Він складається з безлічі зачастих (складових): корпус, компресор, терморегулятор, охолоджувач, конденсатор, фреон, купа різних трубочок, дротів, полиць, лампочок і т.д. Їх наявність, задіяння їхнього потенціалу (якісних характеристик) і включення в певну схему взаємодії робить з пластикової коробки з купою всяких штук реально працюючий апарат, що справляється зі своїм завданням, який ми називаємо холодильником. Вихід з ладу будь-якої зі складових перетворить його з холодильника на коробку з купою всякого непотребу. В даному прикладі “Холодильник” – це і є система, яка виконує певні завдання і створена з певною метою. Його складові – це підсистеми системи “Холодильник”, які при детальному розгляді також є системами, для яких надсистемою вже виступає сам холодильник, а підсистемами для них є їх складові.

Для визначення поняття “Система” дуже важливо вибрати точку відліку, визначитися, що ми беремо за систему, і що для цієї системи буде надсистемою і підсистемами. Зокрема, наша система “Холодильник” входить до складу більшої системи “Побутове обладнання

нашого дому” як його складова, котра, в свою чергу, входить до системи “Дім” (як поняття і функціонування в просторі і часі) і так далі.

Розглянемо тепер Україну з територіальної точки зору. Україна є надсистемою для регіонів, а регіони – надсистемами для міст і більш дрібних територіальних одиниць. У свою чергу (знову ж таки – виключно територіально) Україна є підсистемою Європи. Як не крути, але центр континенту Європа знаходиться в Україні.

## 2 Системоутворюючі фактори

Головним системоутворюючим фактором є *функції системи*.

У загальному розумінні (енциклопедичному визначенні) *функція* (лат. *functio* – здійснення, виконання) – це діяльність, роль об’єкта в рамках деякої системи; відношення між елементами, при якому зміна в одному елементі спричиняє зміну в іншому; *робота*, здійснювана органом, організмом, приладом; роль, значення (призначення) чого-небудь; обов’язки, коло діяльності.

Існує кілька думок стосовно того, що таке функція системи. Так, під функцією системи можна розуміти перетворення її входів на виходи. З іншої точки зору, функція системи може полягати у збереженні її існування, підтримці структури та впорядкованості. Іноді функцію системи ототожнюють із функціонуванням цієї ж системи, визначаючи її як спосіб, засіб або як дію для досягнення цілі (цілей) системи.

У більш простому для розуміння викладенні *функція системи* – це все те, що виконує система або може виконувати відповідно до свого призначення. *Множина функцій системи є перетворення призначення системи в дії*, тобто сукупність послідовних її станів у просторі та часі. При взаємодії функцій часто виникає нова властивість (властивості), котра не виявляється в окремих складових системи. Одна і та ж функція може реалізуватися різними шляхами і засобами.

Окрім функції до системоутворюючих факторів належить мета і завдання системи. *Мета* – це головне призначення системи, бажаний стан її виходів. Мета конкретизується за допомогою *завдань* (*цілей нижчого порядку*). В часовому аспекті вони поділяються на стратегічні, тактичні й оперативні. *Стратегічні цілі* формуються при визначенні напрямів довготривалого розвитку системи, *тактичні* – цілі середньострокового характеру, що забезпечують досягнення стратегічних цілей, *оперативні* – забезпечують вирішення задач оперативного управління, також необхідного для досягнення стратегічних цілей системи.

За наявністю інформації про способи досягнення виокремлюють:

- *функціональну ціль*, шляхи та способи досягнення якої вже відомі, а тому повторюються у часі та просторі;
- *ціль-аналог*, яка є результатом дії іншої системи, але ніколи не реалізувалася системою, що досліджується, а коли й досягалася, то за інших зовнішніх умов;
- *ціль розвитку* – нова ціль, яка ніколи раніше не досягалася, вона по суті пов’язана з утворенням нової системи.

Ці типи цілей пов’язані один з одним. Так, ціль розвитку за умови її успішного досягнення однією системою перетворюється на ціль-аналог для інших систем, а для цієї системи стає функціональною ціллю за незмінних зовнішніх умов.

Системоутворюючим фактором є також **стан системи**, що характеризується кількісними та якісними значеннями внутрішніх параметрів (змінних) системи у певний момент, які називаються *параметрами стану*.

Стан *біологічного організму* характеризується перш за все параметрами обмінних процесів, за допомогою яких організм обмінюється із зовнішнім середовищем речовиною, енергією та інформацією. Ці процеси, в свою чергу, пов'язані з внутрішніми параметрами самого організму: температурою, кров'яним тиском, швидкістю обмінних процесів і т.д.

Стан *економічної системи* визначається обсягом товарно-грошових потоків, що проходять через систему, балансом її доходів-витрат тощо. Індикаторами стану при цьому виступають: обсяг продажів, собівартість продукції, ціна реалізації, прибуток тощо. Зміна довільної кількості цих характеристик означатиме перехід системи до іншого стану.

Функціонування системи, яке проявляється у зміні її станів, що відповідає неперервній чи дискретній<sup>4</sup> зміні певної характеристики (параметра), називають **поведінкою** або **рухом**. Найчастіше таким параметром є час. Отже, **поведінка системи** – це розгорнута в часі послідовність реакцій системи на внутрішні зміни та зовнішній вплив.

Ще одним системоутворюючим фактором є наявність **рівноваги**, тобто здатності системи зберігати свій стан незмінним якомога довше (як за відсутності, так і за наявності зовнішніх збурюючих впливів). Під **стійкістю** розуміють здатність системи повертатись у стан рівноваги після виведення її з цього стану впливом зовнішніх факторів. Стан рівноваги, в який система здатна повертатися, називають **стійким станом рівноваги**.

### 3 Структура системи

Будову системи потрібно досліджувати не лише шляхом виокремлення її більш дрібних частин – необхідне також визначення характеру поєднання складових частин, що робить актуальним питання вивчення структури, зв'язків і відносин елементів у будові системи.

Система має об'єктивну потребу в структурі. **Структура системи** відображає взаємозв'язок і взаємовідносини між її елементами, встановлюючи порядок її побудови. Саме тому структуру системи прийнято описувати видами зв'язків і відносин між її елементами.

**Відносини** – це співвідношення, підпорядкованість однієї властивості елемента іншій, що відзначається статикою будови самого елемента, тобто його структури.

**Зв'язок** – це функціональна характеристика елемента системи, що визначає перенесення матеріальних, енергетичних або інформаційних компонентів від одного об'єкта до іншого. Це **прояв властивостей комунікації** елемента з його оточенням.

Поняття “зв'язок” часто ототожнюють із динамічним станом елементів. Всі елементи будь-якої системи завжди вступають у взаємодію один з одним, втрачаючи при цьому деякі зі своїх властивостей. Наявність властивостей зв'язків у елемента (комунікації) забезпечує його життєдіяльність. Отже, понят-

<sup>4</sup> **Дискретний** (англ. discrete) – роздільний, перервний, протиставляється неперервному.



тя “зв’язок” визначає *функціонально-процесуальну характеристику* системи, а поняття “відношення” – *функціонально-структурну характеристику*.

У кожній системі може існувати безліч **зв’язків**, їх кількістю і різноманіттям зумовлюється складність структури. Тому доцільно вивчити **класифікацію зв’язків**.

Зв’язки поділяються на *внутрішні*, коли перенесення матеріальних, енергетичних або інформаційних компонентів відбувається між елементами системи, і *зовнішні*, коли вихід однієї системи стає входом в іншу. Такі зв’язки прийнято називати *прямими*. Наприклад, постачання ресурсів організації.

Крім прямих існують і *зворотні зв’язки*, що є складною формою прояву причинної залежності і полягають у тому, що результат попередньої дії впливає на наступний перебіг процесу в системі, тобто причина підпадає під зворотний вплив наслідку. Якщо зворотний зв’язок підсилює результат впливу наслідку, то його називають *позитивним*, а якщо послаблює – *негативним*. Негативні зворотні зв’язки сприяють збереженню стійкості системи. Лише завдяки їх наявності у системах можуть відбуватися процеси цілеспрямованої діяльності і регулювання.

Для спрощення сприйняття можна зазначити, що прямий зв’язок забезпечує передачу впливу, інформації з виходу одного елемента на вхід іншого, а зворотний – з виходу деякого елемента на вхід того ж елемента.

В процесі взаємодії елементів у системі встановлюються певні алгоритми їх спільного функціонування. Зокрема, **рекурсивний** – необхідний зв’язок між явищами та об’єктами, коли очевидним є, де причина, а де наслідок. Наприклад, витрати ресурсів є причиною, а результати їх витрачання – наслідком.

*Синергетичний* – це зв’язок, який при спільних діях незалежних елементів системи забезпечує зростання загального ефекту до більшого значення, ніж сума ефектів цих елементів, якщо вони діють незалежно. Отже, це *підсилюючий зв’язок елементів системи*.

Саме з синергетичних зв’язків випливають інтегративні (емерджентні) властивості, тобто властивості цілісної системи, які не властиві її елементам, що розглядаються поза системою.

*Циклічний* – складний зворотний зв’язок, за якого функціонування або розвиток однієї підсистеми створює основу для функціонування і розвитку іншої та навпаки. **Він** становить основу саморегуляції, розвитку системи, її пристосування до мінливих умов існування.

Зв’язки між елементами системи певним чином впливають на структуру. Під *позитивним зв’язком* розуміють результат взаємодії елементів, у процесі якого не відбувається руйнування їх внутрішньої структури, а виникає імпульс для подальшого розвитку елементів усієї системи.

Внаслідок *негативного зв’язку* відбувається руйнування як самого елемента, так і всієї системи.

*Гармонізованим зв’язком* вважають стійкий динамічний стан розвитку елементів системи в результаті їх взаємодії.

За походженням виділяють зв’язки, які утворюються внаслідок:

– *генетичного походження*, коли один об’єкт служить основою для появи

іншого;

- *перетворення*, коли елементи однієї системи в процесі взаємодії з елементами іншої набувають нових властивостей або в одній, або в обох системах;

- *побудови (структурні)*, котрі передбачають, що наявність одних елементів системи обумовлює необхідність інших елементів, які взаємодіють з першими;

- *взаємодії (координації)*, серед яких можна розрізнити *зв'язки властивостей* і *зв'язки об'єктів*. Особливий вид зв'язків взаємодії – це зв'язки між окремими людьми, а також між колективами та соціальними групами. Специфіка їх полягає в тому, що вони опосередковуються цілями, які ставить перед собою кожна зі сторін взаємодії. У цьому виді зв'язків можна розрізнити *кооперативні* та *конфліктні*. Слід зазначити, що зв'язки взаємодії – це найширший клас зв'язків, так чи інакше присутній у всіх інших типах зв'язків декількох елементів системи;

- *функціонування*, що забезпечують життєдіяльність системи або її діяльність (функціонування). Об'єкти, які поєднуються такими зв'язками, спільно виконують певну функцію, причому ця функція може характеризувати або один об'єкт, або більш широке ціле, стосовно якого й існує функціональний зв'язок цих об'єктів. У загальному вигляді зв'язки функціонування можна поділити на *зв'язки стану* (коли наступний стан є функцією від попереднього) та *зв'язки функціональні* (коли об'єкти пов'язані єдністю реалізованої функції) – як результат нормальної життєдіяльності системи;

- *розвитку* – як результат процесу переходу системи з одного якісного стану в інший;

- *управління* – окремий різновид функціональних зв'язків або зв'язків розвитку.

Кожний зв'язок має певні *атрибути*, тобто необхідні, постійні ознаки, властиві кожному окремому елементу системи.

Крім наведеної, існують й інші класифікації зв'язків, наприклад, суттєві і несуттєві, внутрішньосистемні та міжсистемні, взаємні та односторонні, суперечливі та несуперечливі, корисні та шкідливі, слабкі та тісні, важливі і неважливі, жорсткі та гнучкі.

Для визначення структури системи необхідно провести її послідовну *декомпозицію*, тобто виокремити в ній підсистеми всіх рівнів, які доступні аналізу, та їхні елементи, котрі відповідно до завдань дослідження не поділяються на складові частини. Вихідними поняттями в аналізі структури є поняття *форми* і *змісту*. З сучасної точки зору можна сказати, що форма – це структура змісту.

Залежно від характеру внутрішньої організації системи та зв'язків між елементами виокремлюються основні типи структур, які можна зобразити графічно, у вигляді опису (вербально), матриць або іншими способами: лінійна (а), матрична (б), мережева (в), кістякова (г), ієрархічна (д), деревовидна (є) (рис. 2.1).

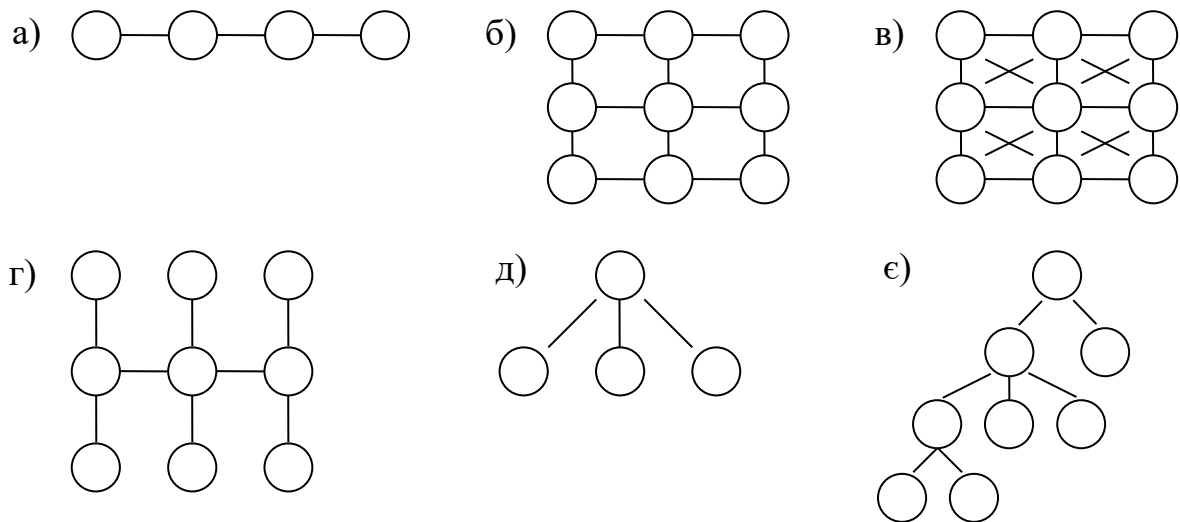


Рисунок 2.1 – Основні типи структур системи

Виявляючи структуру об'єкта, його насамперед розглядають як систему, тобто як комплекс частин. Далі виявляється елементність цих частин, що дає першу структурну характеристику системи. Структурні відносини важливі не самі по собі, а лише тією мірою, якою вони характеризують стійкість системи, виявляючи її структурний інваріант. Структура, таким чином, є стійкою єдністю елементів, їх відносин і цілісності системи.

Розчленування об'єкта дослідження на елементи, їх відносини і виявлення цілісних властивостей об'єкта – це характерна риса наукового дослідження. Можна стверджувати, що для сучасних наукових досліджень є типовим структурний підхід. Пошуки структурних інваріантів – не менш вагоме завдання, ніж пошуки причини явищ. Знання структури системи є знанням закону, за яким породжуються елементи системи і відносини між ними. Структура є найконсервативнішою характеристикою системи: хоча її стан змінюється, структура зберігається незмінною іноді дуже тривалий час. Якщо розглядати поняття “структура” у взаємозв'язку з категорією “мета”, то структура – це спосіб досягнення мети.

### Тема 3. Розвиток, самовідтворення і саморуйнування систем

1. Поняття і зміст розвитку системи.
2. Порядок і хаос.
3. Самовідтворення і самодеструкція систем.
4. Взаємозв'язок процесів самовідтворення і саморуйнування систем.

#### 1 Поняття і зміст розвитку системи

Процеси розвитку становлять невід'ємну складову існування матерії у Всесвіті і на нашій планеті. Від чого ж залежить стабільність і швидкість процесу розвитку? Познайомимося для початку з його сутністю.

З поняттям розвитку асоціюються, насамперед, процеси зміни систем.

За енциклопедичним визначенням, **розвиток** – **незворотна, спрямована, закономірна** зміна матеріальних об'єктів (організм, екосистема, підприємство) та ідеальних предметів (мова, культура, релігія)<sup>5</sup>. Тільки одночасна наявність трьох зазначених властивостей виділяє процеси розвитку серед інших змін [1].

Дійсно, **незворотність** оберігає систему від циклічного повторення (тобто постійності, сталості). **Спрямованість (направленість)** забезпечує можливість накопичуваності змін і виникнення нової якості:

- від спадного до висхідного;
- від старого до нового;
- від простого до складного;
- від нижчого до вищого;
- від випадкового до необхідного.

За відсутності **закономірності** відсутній і розвиток, а є тільки хаос – незв'язний, безпричинний і нескінченний набір випадковостей.

**Незворотність** – властивість процесів мимовільно протікати в певному напрямку без можливості природного повернення в початковий стан. Система, в якій відбулися незворотні процеси, не може повернутися в початковий стан без того, щоб в навколишньому середовищі не залишилося будь-яких змін.

Найбільш яскравим прикладом необоротних процесів є видавлювання пасти з тюрбика. До того ж класу явищ відносяться: потік водоспаду, охолодження плити, намагнічування заліза і т.п. Повернути в початковий стан зазначені системи можна, лише *доклавши додатково енергію*. Іншими словами, в зворотному напрямку зазначені процеси *самі* протікати не можуть. Виконання ж додаткової роботи неминуче пов'язане зі змінами у зовнішньому середовищі. Всі незворотні процеси нерівноважні, а отже, несиметричні в часі (минуле і майбутнє несиметричні по відношенню до теперішнього).

Однією з перших точних наук, яка досліджувала проблему незворотності процесів у часі, була термодинаміка. Дійсно, розсіювання тепла від нагрітого тіла є незворотнім. Наприклад, тепло, розсіяне в просторі від нагрітої праски, вже не повернеться до неї самостійно. В основі існування, функціонування і розвитку живої речовини лежать саме незворотні, несиметричні процеси. На сьогодні деякі вчені беруть сміливість говорити про теоретичну можливість абсолютної оборотності часу навіть для рівня макросвіту. На що їх опоненти радять уявити світ, де б померлі люди воскресали, стаючи старими, потім молоділи, зменшувалися (тобто росли навпаки), опинялися в утробі матері і т.д.

<sup>5</sup> Тут варто зауважити, що останні не здатні існувати і розвиватися без своїх матеріальних носіїв, тобто людей.

**Спрямованість** передбачає здатність системи змінюватися в одних напрямках більшою мірою, ніж в інших.

Для прогресивного розвитку системи надзвичайно важливо, щоб тренд (тобто тенденція, вектор) зміни стану системи збігався з напрямом, який найкращим чином дозволяє виконувати її основну функцію. Якщо йдеться про живу систему, то цей напрям має відповідати просуванню до головної мети існування системи (наприклад, домінуванню в економічній ніші).

Може так статися, що автомобіль, який втратив управління, за інерцією буде просуватися в напрямку кювету. Це теж буде спрямована зміна стану автомобіля. Але така спрямованість не сприяє, а перешкоджає цілеспрямованому просуванню до наміченої мети.

Головна мета більшості економічних суб'єктів зв'язується в уяві людей з отриманням прибутку. І це дійсно так. Але фінансовий результат діяльності підприємств є наслідком досягнення багатьох інших цілей. Умілі керівники можуть їх майстерно ставити і координувати в просторі і часі, часто всупереч короткостроковим фінансовим вигодам. Вони будуть приноситися в жертву заради стабільних довгострокових економічних (в тому числі і фінансових) результатів діяльності.

Серед згаданих стратегічних цілей можна назвати:

- створення позитивного іміджу фірми;
- просування власної продукції на певні сегменти ринку;
- отримання конкурентних переваг, підвищення ефективності виробництва;
- підвищення якості продукції;
- підвищення технологічного рівня виробництва;
- впровадження виробництва нових видів товарів тощо.

Ступінь досягнення зазначених цілей в кінцевому рахунку і буде визначати спрямованість розвитку даної економічної системи, а разом з тим формувати передумови, з яких буде виростати кінцевий фінансовий результат.

**Незворотність і спрямованість** тісно пов'язані між собою, хоча і мають різні функції. Незворотність захищає систему від довільного “скочужання” в попередній стан, спрямованість же передбачає, що зміни визначені напрямком – вектором.

Незворотність в поєднанні зі спрямованістю можуть в значній мірі прискорити розвиток системи. При цьому незворотність інформаційно за допомогою зворотних зв'язків закріплює зміни, що відбуваються, ліквідуючи можливості системі повернутися до свого попереднього стану.

Так альпініст, просуваючись до вершини і закріплюючись, кожного разу страшує себе від скочужання вниз.

Спрямованість надає змінам найбільш ефективний характер: попереджає безцільні “хитання” зі сторони в сторону.

Той же альпініст буде рухатися швидше, якщо вибере найбільш зручний маршрут прямування.

**Закономірність** – властивість системи відповідати певним законам. У свою чергу, **закон** – це необхідний, істотний, постійно змінний взаємозв'язок явищ реального світу, що визначає етапи і форми процесу розвитку явищ природи, суспільства і духовної культури [1].

Закономірність гарантує, що зміни будуть відповідати причинно-наслідковим зв'язкам. Це означає, що за одних і тих самих умов зміни системи будуть відбуватися строго певним чином, тобто кожен раз однаково. Іншими

словами, з одних і тих же причин за тих самих умов (що істотно!) *завжди* буде витікати одне і те ж слідство. В якості подібного слідства може розглядатися саме стан системи. Однаковий ланцюг змін за однакового вихідного стану системи має незмінно приводити до однакового кінцевого її стану.

На рівні підприємства закономірність означає, що за незмінних характеристик ринкового середовища (одного і того ж контингенту споживачів, їх стабільної купівельної спроможності, кількості та якості товарів конкурентів і т.п.) дії підприємства на ринку будуть призводити до однакових наслідків. Зокрема, зменшення ціни буде вести до прогнозованого збільшення обсягу продажів, а її зростання – до зменшення продажів. Насправді йдеться лише про теоретичну тезу. В реальних умовах характеристики ринку змінюються щохвилини. Повторити їх повну ідентичність у часі просто неможливо.

Саме розглянуті три властивості: *незворотність*, *спрямованість* і *закономірність* – можуть надати змінам системи характер розвитку. Зазначені властивості є *необхідними формальними ознаками* феномена розвитку. Але навіть їх наявність не дає достатніх підстав кваліфікувати будь-який процес як розвиток. Значною мірою глибина цього явища, в тому числі сутність його достатніх ознак, розкривається нашим суб'єктивним сприйняттям даного поняття.

Крім *необхідних ознак розвитку*, можна виділити *достатні ознаки*. Разом вони утворюють загальну понятійну основу феномена розвитку. Серед *достатніх ознак* можна назвати *впорядкованість*, *випадковість*, *невизначеність*, *самоорганізацію* (рис. 3.1).

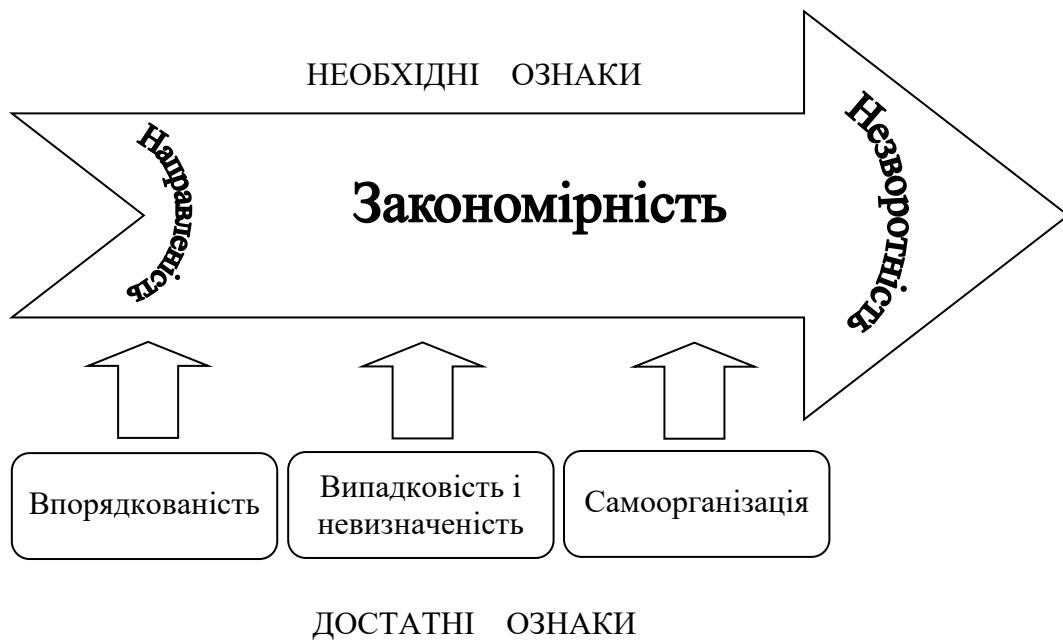


Рисунок 3.1 – Ознаки феномену розвитку

Сам термін “розвиток” вже несе певне сенсове навантаження, свідомо чи підсвідомо закладене в нього носіями мови. Саме в цьому підтексті “прочитуються” зазначені достатні ознаки.

**Впорядкованість процесів.** Хоча розвиток не завжди пов’язаний тільки з прогресивними змінами (іноді він може йти і за регресивним, загасаючим сценарієм), проте цей процес сприймається як своєрідний антипод деструкції, тоб-

то руйнуванню.

Поняття розвитку в значній мірі пов'язане зі *стохастичністю* (тобто випадковістю) і *невизначеністю*, які за будь-яких зусиль ніколи не можуть усунутися повністю. Це обумовлюється тією обставиною, що зміни, які зумовлюють розвиток, значною мірою є *випадковими* (адже інновації в більшості своїй носять випадковий характер) і *унікальними*, тобто такими, аналогів яким не було в минулому.

В економіці випадковість і невизначеність асоціюються з таким коротким, але надзвичайно ємним словом, як *ризик*.

Розвиток передбачає зміни системи внаслідок її внутрішньої діяльності. Як правило, дієслово “розвивати” вживається з часткою “-ся”. Таким чином, процеси розвитку систем передбачають, в першу чергу, активну роль внутрішніх механізмів *самоорганізації* систем.

У тому випадку, коли передбачаються зміни системи за рахунок зовнішніх факторів (зокрема, на основі цілеспрямованих дій людини), використовується інша термінологія: “перестроювати”, “здійснювати дії”, “змінити”, “вплинути”, “реалізувати план” тощо. Система ж саме “розвивається”, реалізуючи власну потенцію активності. Розвиваються: живі організми, екосистеми, відносини між людьми, економічні суб'єкти і т.д. У тих рідкісних випадках, коли дієслово “розвинути” (“розвивати”) використовується без частки “-ся” (“розвинути швидкість”, “розвинути шахові фігури”, “розвинути успіх”), передбачається значний ступінь невизначеності, створеної умовами зовнішнього середовища. Тобто характеризується нібито поведінка системи з більш активною роллю координуючого суб'єкта, який знаходиться знову-таки всередині неї самої. Якщо, завдяки ефективній діяльності і за рахунок отриманого від цього додаткового доходу, підприємство створює нові потужності і модернізує існуючі, то це свідчить про розвиток підприємства, яке дбає про розвиток своїх підрозділів. Якщо ж зазначені процеси відбуваються на державному підприємстві, і кошти на це виділяє з держбюджету країна, це свідчить про розвиток країни, яка намагається створити передумови для розвитку підприємств, що їй належать.

З урахуванням вищенаведених уточнень визначення розвитку можна сформулювати наступним чином: *розвиток* – *необоротна, спрямована, закономірна* зміна станів системи на основі реалізації механізмів її самовпорядкування і самоорганізації, що відбувається в процесах адаптації системи до *випадкових, невизначених* змін у зовнішньому середовищі.

Можна говорити про три різні вектори, що характеризують спрямованість процесів розвитку. З огляду на це, напрямки розвитку можуть бути названі:

- *прогресивним* (передбачає послідовне поліпшення стану системи);
- *стабільним* (передбачає стабільний, тобто відносно стійкий динамічний стан системи);
- *регресивним* (передбачає послідовне погіршення стану системи).

## 2 Порядок і хаос

Розвиток системи, з огляду на його властивості як процесу, невіддільний від поняття порядку, який, у свою чергу, є зворотною стороною хаосу.

*Порядок*, цілком ймовірно, може бути визначений як *наявність умов для стійких* (тобто таких, що тривають відносно довгий період часу) *спрямованих (направлених) змін*. Подібними змінами можуть бути: механічний рух, фізичні

або хімічні трансформації, економічні процеси тощо. При цьому самі зміни можуть або відбуватися в реальній дійсності, або бути потенційно можливими.

Ми не постійно (в сенсі безперервно) користуємося електроенергією або послугами електронної пошти, Інтернету. Однак завжди існує можливість їх використовувати. Цю можливість (порядок) створюють організовані певним чином спеціальні мережі і їх особливі фізичні (електромагнітні) властивості. Ми не постійно купуємо щось в магазині і навряд чи безперервно користуємося послугами сервісу, зв'язку. Але можна при потребі піти в магазин і придбати необхідний нам предмет. Працівники сервісу готові виконати наше замовлення лише тільки ми до них звернемося. А телефонна станція цілодобово готова з'єднати нас з потрібним абонентом. Впевненість у безвідмовній роботі цих служб існує там, де чітко діють товарно-грошові відносини. Саме вони створюють *порядок* економічної системи. Це означає, що існують, як мінімум, дві умови: організаційна структура *пропозиції* та економічний потенціал *попиту*. Останнє передбачає потребу (інтерес) і платоспроможність покупця (клієнта).

Для виникнення в певному місці простору порядку необхідні три умови:

1. Необхідна наявність тут енергетичного (квазіенергетичного) *потенціалу*, здатного покликати до життя будь-які зміни (рух).

2. Ця частина простору повинна бути певним чином (інформаційно) *організована*. Іншими словами, необхідний інформаційний алгоритм реалізації енергетичного потенціалу, щоб надати змінам, що виникли, стійкого спрямованого характеру.

3. Окремі частини простору повинні бути об'єднані ефектом синергізму в єдину цілісну систему (рис. 3.2).

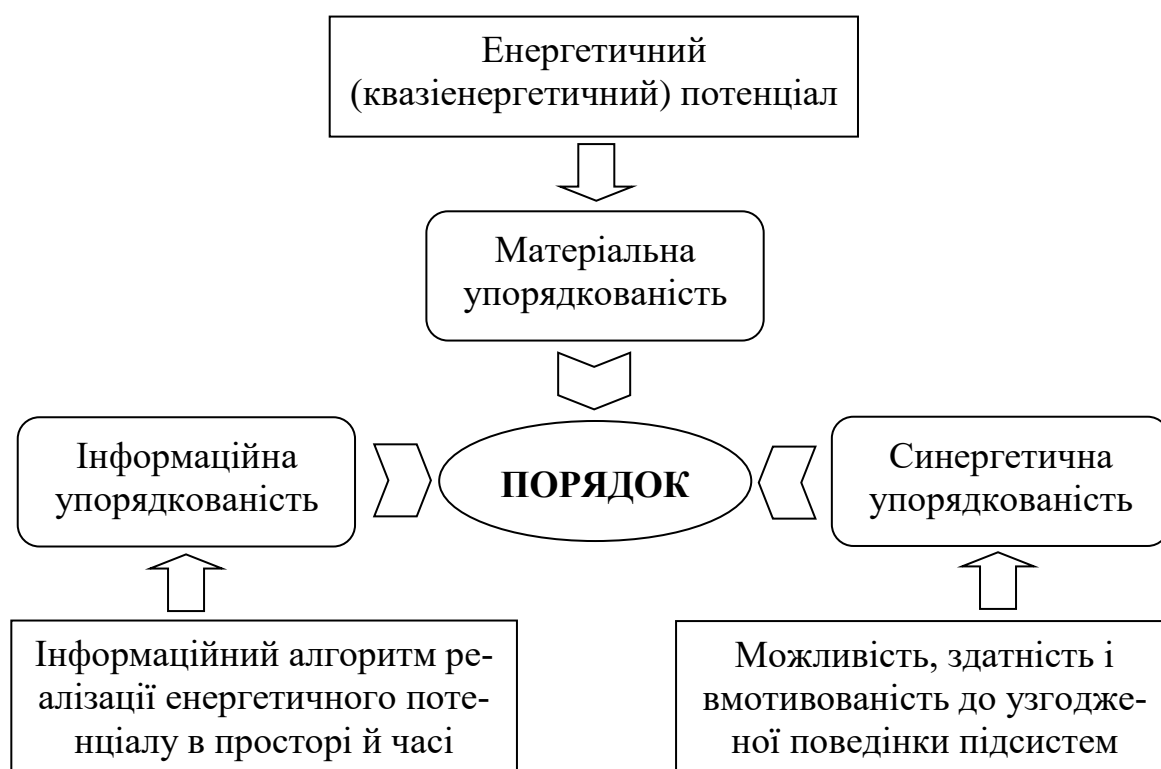


Рисунок 3.2 – Необхідні передумови порядку

**Матеріальна впорядкованість** забезпечує здатність системи здійснювати роботу, передбачає формування енергетичних (квазіенергетичних) потенціалів.



лів, що забезпечують реалізацію силових функцій.

**Потенціал** (від лат. Potentia – сила) – це наявність у певного об'єкта (точки, системи) фізико-хімічних властивостей (рівня висоти, тиску, температурних характеристик, електромагнітної зарядженості, ін.), що створюють можливість виконати роботу.

Оскільки будь-який об'єкт має той чи інший енергетичний потенціал, найчастіше більш істотним моментом є *різниця потенціалів між об'єктами* (суміжними точками, системою і зовнішнім середовищем, окремими частинами системного цілого). Тому *будь-яка нерівномірність, а точніше – нерівноважність, є рушійною силою змін*.

В результаті механічної різниці потенціалів (зокрема, різниці в рівні висот) відбувається механічний рух; наслідком електричної різниці потенціалів є спрямований рух електронів – електричний струм; завдяки хімічній різниці потенціалів протікають хімічні реакції; нарешті, внаслідок різниці економічних потенціалів (попит-пропозиція) починається рух потоку товарів і грошей.

**Інформаційна впорядкованість** – це стійка, організована в просторі і часі спрямованість матеріально-енергетичних потоків, що забезпечують функціонування (життєдіяльність) системи. *Просторова впорядкованість* системи забезпечується її структурою (див. тему 2). *Часова впорядкованість* передбачає послідовність і тривалість окремих процесів, що визначають динаміку відтворення будь-якої природної або антропогенної системи.

**Синергетична впорядкованість** передбачає характер зв'язків між підсистемами всередині самої системи і між даною системою й іншими системами. Для реалізації явища синергізма необхідно, щоб в системі проявилися як мінімум три групи *передумов*:

а) окремі частини системи повинні мати свободу (і можливість) реагувати на зміну зовнішнього середовища;

б) між окремими частинами системи повинні діяти комунікаційні контакти (стандарти – правила спільної поведінки, мова – код взаємного спілкування, комунікації для реалізації зв'язків тощо);

в) має бути присутня взаємна вигода узгодженої поведінки.

**Хаосом (безладом)** логічно назвати стан, протилежний порядку, тобто відсутність умов для стійких спрямованих змін.

Це може відбуватися в трьох випадках.

*По-перше*, якщо відсутні енергетичні потенціали генерації змін. Подібний стан на мові фізиків називається рівноважним станом. Така ситуація, зокрема, настає, якщо всі частини системи набувають однакової температури, зарядженість, хімічні характеристики. За відсутності потенціалів відсутній і рух.

*Друга причина* може виникати, якщо існують імпульси змін (потенціал), але відсутні умови їх впорядкованості (стійкості і спрямованості). Прикладом є "броунівський рух". Це відбувається, якщо вектор (напрямок) дії потенціалу постійно змінюється.

І, нарешті, *третьою причиною* виникнення хаосу пов'язана з блокуванням синергетичних зв'язків. У свою чергу, це може відбуватися в одному з трьох випадків:

а) якщо підсистеми не мають достатньої міри свободи адекватно реагувати на зміни, що відбуваються;

б) якщо відсутні “правила гри” і “мова спілкування”, що сприймаються підсистемами;

в) якщо підсистемам через будь-які обставини не вигідна кооперативна поведінка.

Отже, *причини хаосу* (безладдя), можна виразити таким чином:

- 1) відсутність енергетичних потенціалів руху;
- 2) відсутність впорядкованості реалізації енергетичних потенціалів;
- 3) блокування синергетичних зв'язків.

Як відомо, абсолютного спокою в матеріальній природі не існує. Частинки завжди коливаються навколо своєї осі. Зате в фізиці існує поняття “абсолютний хаос”. Він настає при рівномірному розподілі елементарних частинок, що мають однакові потенціали. В цьому випадку безплідні хаотичні коливання і зіткнення часток не в змозі викликати до життя якийсь спрямований рух. За іронією долі “абсолютний хаос” називають ще “рівноважним порядком”. Подібну “безжиттєву впорядкованість” можна порівняти хіба що із “залізною дисципліною” на кладовищі, де ніхто нікому не заважає.

На жаль, наша свідомість важко пов'язує хаос зі спокоєм, тим більше з “вічним спокоєм”, що означає “рівноважний порядок”. У нашому бурхливому житті ми звикли пов'язувати хаос швидше з безмежними швидкостями і рухами. Хаос (уявлення більшості людей) – це затори й аварії на дорогах, бійки на стадіонах, безсистемний шум в аудиторіях. Подібні явища, обумовлені відсутністю інформаційної впорядкованості, – теж ознаки хаосу. Точніше, перший крок до повного хаосу, що означає вічний спокій, початок шляху, що веде до безглуздої втрати енергії суспільством, зростання його ентропії. Але до хаосу можуть вести і явища іншого роду, коли, наприклад, люди, які беруть участь у виконанні спільного завдання, перестають (не можуть або не хочуть) розуміти один одного. Саме це сталося в біблійній притчі про будівництво Вавилонської вежі, коли люди почали говорити на різних мовах.

“Рівноважний порядок” і “впорядкований рух” – як близькі за звучанням ці поняття, але які вони полярні за змістом! Перше символізує шлях деградації, друге – дорогу до розвитку і прогресу.

Ілля Пригожин, Ізабелла Сенгерс: “Що ми маємо на увазі, коли говоримо про порядок? Що ми маємо на увазі, коли говоримо про безлад? Наші визначення порядку і безладу включають в себе і культурні судження, і науку. Протягом довгого часу турбулентність в рідині розглядалася як прототип безладу. З іншого боку, кристал було прийнято вважати втіленням порядку. Але тепер ми змушені відмовитися від подібної точки зору. Турбулентна система “впорядкована” рухом двох молекул, розділених макроскопічними відстанями (вимірюваними в сантиметрах) ... Вірно і зворотне твердження: атоми, що утворюють кристал, коливаються навколо своїх рівноважних положень, причому коливаються незгодженим чином. З точки зору мод коливань (теплого руху), кристал неупорядкований” [2].

За мільярди років еволюції на Землі природа змогла виробити універсальні механізми забезпечення порядку в своїх системах.

### 3 Самовідтворення і самодеструкція систем

При організації своєї діяльності людина змушена враховувати один незаперечний факт: будь-які об'єкти матеріального світу неминуче піддаються процесам саморуйнування. Використовуючи більш сувору наукову термінологію, можна сказати, що відбувається *мимовільне збільшення ступеня внутрішньої*

*невпорядкованості системи.*

Згадавши про триєдиний механізм взаємодії природних начал при формуванні систем, можна сказати, що процеси саморуйнування системи зачіпають всі три згадані складові: *матеріальну, інформаційну та синергетичну.*

Зокрема, на підприємстві можуть відбуватися такі несприятливі зміни:

- 1) вийде з ладу частина технічних засобів, виробничих ділянок, підсистем, окремих виконавців;
- 2) погіршиться якість роботи технічних засобів, підсистем, виконавців, буде втрачена частина виконуваних ними функцій;
- 3) порушаться (погіршаться) зв'язки між окремими робочими місцями, виробничими ділянками, окремими виконавцями; в результаті процес взаємодії між ними потребує більше часу або великих витрат праці, ресурсів, коштів; ряд незворотних робіт (що виконувалися до цього без проблем) виявляться нездійсненими.

Міру внутрішньої неупорядкованості системи називають **ентропією**. Відповідно процес збільшення міри внутрішньої неупорядкованості системи є *зростанням ентропії, або виробництвом ентропії*. Причиною невідворотного зростання ентропії (або, просто кажучи, саморуйнування систем) є необоротне розсіювання енергії, що називається **дисипацією енергії**.

Найбільш яскравим прикладом цього процесу є самостійне охолодження нагрітих праски або чайника. Воно триватиме до тих пір, поки температура цих предметів не зрівняється з температурою навколишнього середовища. Для людини дані предмети становлять цінність саме в нагрітому вигляді. Проте, на жаль, зберігати довго такий свій стан вони не можуть. Як тільки припиняється їх нагрівання, відразу ж настає мимовільна втрата утилітарного (тобто найбільш корисного) стану даних предметів. Даний процес можна розглядати як мимовільне зниження впорядкованості середовища проживання людини і кваліфікувати як зростання ентропії в даній системі.

Саме цей процес – самовільного вирівнювання енергетичних потенціалів різних об'єктів і систем – є в природі більш природним, ніж зворотний, коли енергія починає спонтанно концентруватися десь в одному місці, створюючи різницю потенціалів. Навряд чи хто-небудь, перебуваючи при здоровому глузді, може сподіватися, що праска без підключення її до мережі ні з того ні з сього мимовільно нагріється.

Існування будь-яких матеріальних об'єктів: від елементарних частинок до космічних тіл і утворень – є не що інше, як підтримка різниці їх потенціалів із зовнішнім середовищем. В міру вирівнювання енергетичних потенціалів різних частин природного простору почнуть зникати й об'єкти матеріального світу. Як тільки всі елементарні частинки стануть заряджені однаково – зникнуть атоми, а з ними – молекули і речовина, клітини і живі організми.

Отже, необоротне розсіювання (дисипація) енергії є неминучим супутником процесів саморуйнування системи (зростання її ентропії). Напевно, не випадково у фізиці *ентропія* визначається як *міра незворотного розсіювання енергії*.

Чим більшу частину становить частка енергії, яку система необоротно розсіює в зовнішнє середовище, тим менше залишається у системи енергії, яку вона може витратити для виконання роботи. У фізиці ця енергетична складова називається *вільною енергією*. При зростанні ентропії в системі вільна енергія в ній знижується.

На жаль, зростання ентропії закріплене невблаганним законом світобудови. У фізиці він сформульований як другий закон термодинаміки.

Аналізуючи вищенаведені приклади, можна помітити ще одну закономір-

ність: більш впорядкований стан (наприклад, нагріта праска або побудований будинок) є менш імовірним станом системи; чим менше впорядкований стан даної системи, тим більше він імовірний.

Зокрема, будинок може завалитися при незначному землетрусі. Однак складно уявити собі природні катаклізми, за яких він може мимоволі набути свого відбудованого стану.

Чим менш імовірний стан системи, тим більше потрібно енергії, щоб його підтримувати. Дійсно, руйнування відбувається спонтанно, для створення чогось корисного потрібно докладати зусиль. Ця тенденція закріплена управліннями в афоризмі: “Все погане відбувається само собою – все хороше треба організувати”.

В світі немає нічого вічного. Будь-які нагріті або заряджені тіла рано чи пізно охолоджуються або розряджаються, віддаючи свою енергію середовищу. Організми старіють, будівлі старішають, машини зношуються, знання забуваються, зв'язки слабшають, відносини рвуться. Світ, де зникає різниця енергетичних потенціалів, перетворюється на мертвий рівноважний простір.

**Самовідтворення систем.** У нас немає підстав ставити під сумнів другий закон термодинаміки<sup>6</sup>. Але таким же незаперечним законом світобудови є те, що природа протистоїть подібній загальній деструкції (або, як сказали б фізики, теплової смерті Всесвіту) процесами випереджаючого самовідтворення (самотворення). Нобелівський лауреат Е. Шредінгер на питання, чим харчуються живі організми, відповів: “негативною ентропією”. Фактично це означає, що живі організми харчуються здатністю долати процеси саморуйнування роботою по самовідтворенню.

Тим же самим займаємося і ми з вами, коли вранці вносимо в наші квартири сумки з їжею, а ввечері виносимо відходи. Постійною самоорганізацією відкриті стаціонарні системи намагаються не тільки відновити доволіно порушений порядок, але і перевершити його своїм подальшим зростанням, вдосконаленням, розвитком. Цей процес відбувається і на більш високому рівні міжсистемної організації. На місці відмерлих рослин з'являється нова, більш густа молода рослинність, зі старіючих будівель люди переселяються в більш комфортабельні, зношені машини замінюються більш досконалими, цивілізації, що йдуть, передають естафету тим, що приходять – більш прогресивним, здатним краще накопичувати вільну енергію та інформацію.

З цих двох процесів *саморуйнування* і *самовідтворення*, власне, і складається процес розвитку природних і суспільних систем. Коли створюючі процеси обганяють руйнівні, відбувається те, що називають таким ємним словом – **прогрес**. В іншому випадку ми маємо справу з **регресом**, або **деградацією**.

Аналізуючи взаємозв'язок процесів виробництва і зниження ентропії, доречно підкреслити в процесі розвитку реалізацію трьох основних функцій: *створення (творіння)*, *збереження (підтримання)* і *руйнування (деструкції)*.

Провідна роль в цій безперервній гонитві творення і руйнування належить інформації. Виграють системи, здатні краще накопичувати та закріплювати інформацію. Власне, прогрес і є збільшенням ступеня інформативності систем.

<sup>6</sup> Другий закон термодинаміки стверджує, що в ізольованій системі (такій, що не приймає енергії) ентропія ніколи не зменшується

#### 4 Взаємозв'язок процесів самовідтворення і саморуйнування систем

Процеси *самовідтворення* і *саморуйнування* природних систем нерозривні з самого початку еволюції природи (рис. 3.3).

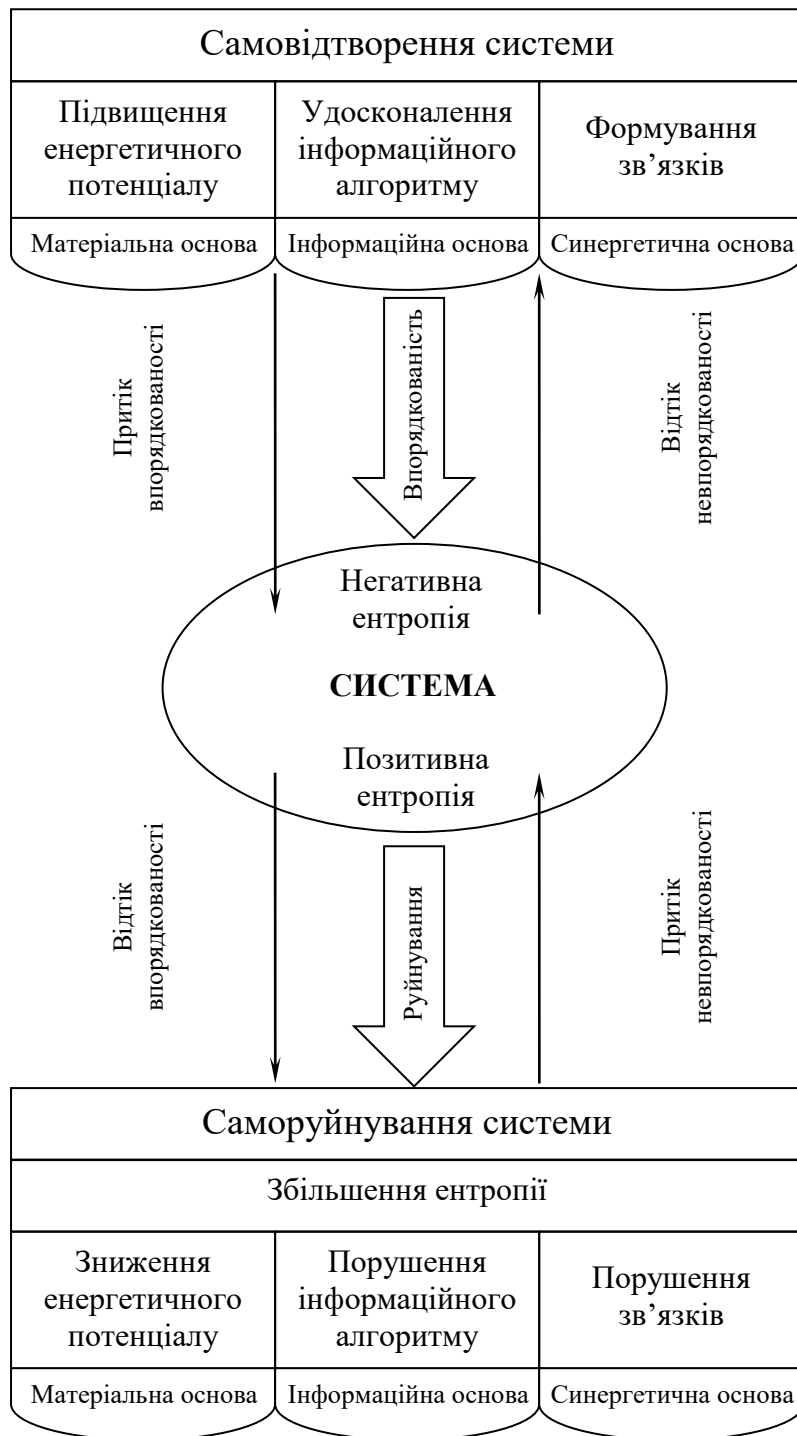


Рисунок 3.3 – Взаємодія процесів самовідтворення і саморуйнування системи

Процеси розвитку *відкритих стаціонарних систем* в кінцевому підсумку спрямовані на вилучення із зовнішнього середовища і накопичення енергії. Саме вони умовно можуть бути названі *творенням*. Але ці ж процеси неминуче пов'язані з деструкцією. Більше того, можна сказати, вони її обумовлюють.

Адже зруйнувати можна лише існуючий порядок. Абсолютний хаос, або вічний спокій зруйнувати не можна, – його можна тільки перервати процесом творення.

Дисипація енергії, тобто її безповоротне необоротне розсіювання – це своєрідні відходи процесів творення. Втрата енергії системою і є процесом її деструкції (руйнування).

“Ледве народившись, порядок починає руйнуватися. Більш того, не руйнуючись, він перестає бути порядком” [2].

Творення породжує руйнування, супутником добра є зло. Будь-яке будівництво починається з руйнування. Причому руйнується не тільки місце майбутнього будівництва, яке починається з розчищення території. Всі будматеріали видобуваються в процесах деструкції природи.

Існування будь-якого біологічного виду неминуче пов’язане з відходами життєдіяльності, які руйнують існуюче середовище, створюючи нове і готуючи ґрунт для майбутніх структур з колективною поведінкою. Наші родючі чорноземи – це зруйновані залишки минулих екосистем. Навіть кисень, що несе життя, – це відходи життєдіяльності синьо-зелених водоростей, які колись “отруїли” таким чином атмосферу Землі в минулому і створили умови для розвитку нині існуючого біологічного світу.

Єдність творення і руйнування, втілених в образах вічного Добра і Зла, складають цілісну картину процесу під назвою **розвиток** природних систем, в якому ми всі і живемо.

Значний поштовх до формування уявлень про саморозвиток матеріальних систем дало становлення науки синергетики. **Синергетика** (від грец. *synergein* – працювати разом) – це напрям міжгалузевих досліджень, об’єкт яких – *процеси самоорганізації* у відкритих системах фізичної, хімічної, біологічної, екологічної й іншої природи. Іншими словами, синергетика визначає та обґрунтовує процес переходу від неупорядкованості до порядку і за своєю суттю є наукою про самоорганізацію відкритих стаціонарних систем.

## Тема 4. Механізми забезпечення стійкості систем

1. Механізм зворотного зв'язку.
2. Механізми негативного зворотного зв'язку.
3. Механізми позитивного зворотного зв'язку.
4. Механізми зворотного зв'язку в природі та суспільстві.

### 1 Механізм зворотного зв'язку

**Самоорганізація** покликана забезпечувати дві провідні функції системи: *здійснення метаболізму та підтримання гомеостазу*.

Будь-яка відкрита стаціонарна система не може функціонувати, не здійснюючи **метаболізм**, тобто матеріально-інформаційний обмін із зовнішнім середовищем та між частинами всередині самої системи.

Фундаментальною властивістю природних систем є їхня **стаціонарність**, тобто здатність підтримувати гомеостаз – відносно вузький інтервал параметрів свого стану. **Гомеостаз** (др.-грец. ὁμοιοστάσις від ὁμοιος “однаковий, подібний” + στάσις “стояння; нерухомість”) – саморегуляція, здатність відкритої системи зберігати сталість свого внутрішнього стану за допомогою скоординованих реакцій, спрямованих на підтримку динамічної рівноваги; прагнення системи відтворювати себе, відновлювати втрачену рівновагу, долати опір довкілля. Саме гомеостаз забезпечує системі інформаційну ідентичність та енергетичну (квазіенергетичну) ефективність.

Отже, для свого існування та розвитку система зобов'язана безперервно підтримувати сталість своїх характерних ознак і параметрів. Це означає, що вона неминуче має реагувати на внутрішньо- та зовнішньосистемні зміни.

Наприклад, можуть суттєво змінюватися температура, тиск, електромагнітна зарядженість, речовий склад зовнішнього середовища. Такі зміни – малоконтрольований системою процес, і запобігти їм система не може. Принаймні, в адекватно короткі періоди часу, тобто настільки швидко, щоб ці зміни не встигли б суттєво вплинути на її стан (хоча в ряді випадків система намагається робити та робить це). Напрошується висновок, що вона повинна змінюватися сама, щоб за рахунок змін параметрів свого стану адаптуватися під зміни зовнішнього середовища. Головна мета такої внутрішньої перебудови системи – збереження (підтримання) основних параметрів її гомеостазу та пов'язаної з ним динамічної рівноваги.

Зовнішні умови функціонування системи, що постійно змінюються, вимагають наявності у неї ефективних механізмів управління своїм станом. Адаптуватися під змінні умови середовища система повинна, змінюючи параметри своїх внутрішньосистемних елементів (підсистем) і перебудовуючи по ходу зв'язки між ними. Цю проблему природа вирішила з властивою їй геніальністю, створивши механізми зворотного зв'язку.

**Зворотний зв'язок** – це відповідь (реакція) системи на дію фактору, що впливає (фактору впливу), через зміну параметрів свого стану.

Принципова можливість регулювання стану системи за допомогою механізмів зворотного зв'язку обумовлена циклічністю його відтворення. Через певний період цикли повторюються на новому рівні, умовно ніби повертаючись у вихідну точку свого розвитку. Таким чином, у системі з'являється можливість

на основі інформації про умови протікання попереднього циклу скоригувати параметри нового циклу.

Залежно від напрямку реакції (відповіді) системи на фактор впливу розрізняють два види механізмів зворотного зв'язку: *негативний* та *позитивний* (рис. 4.1).

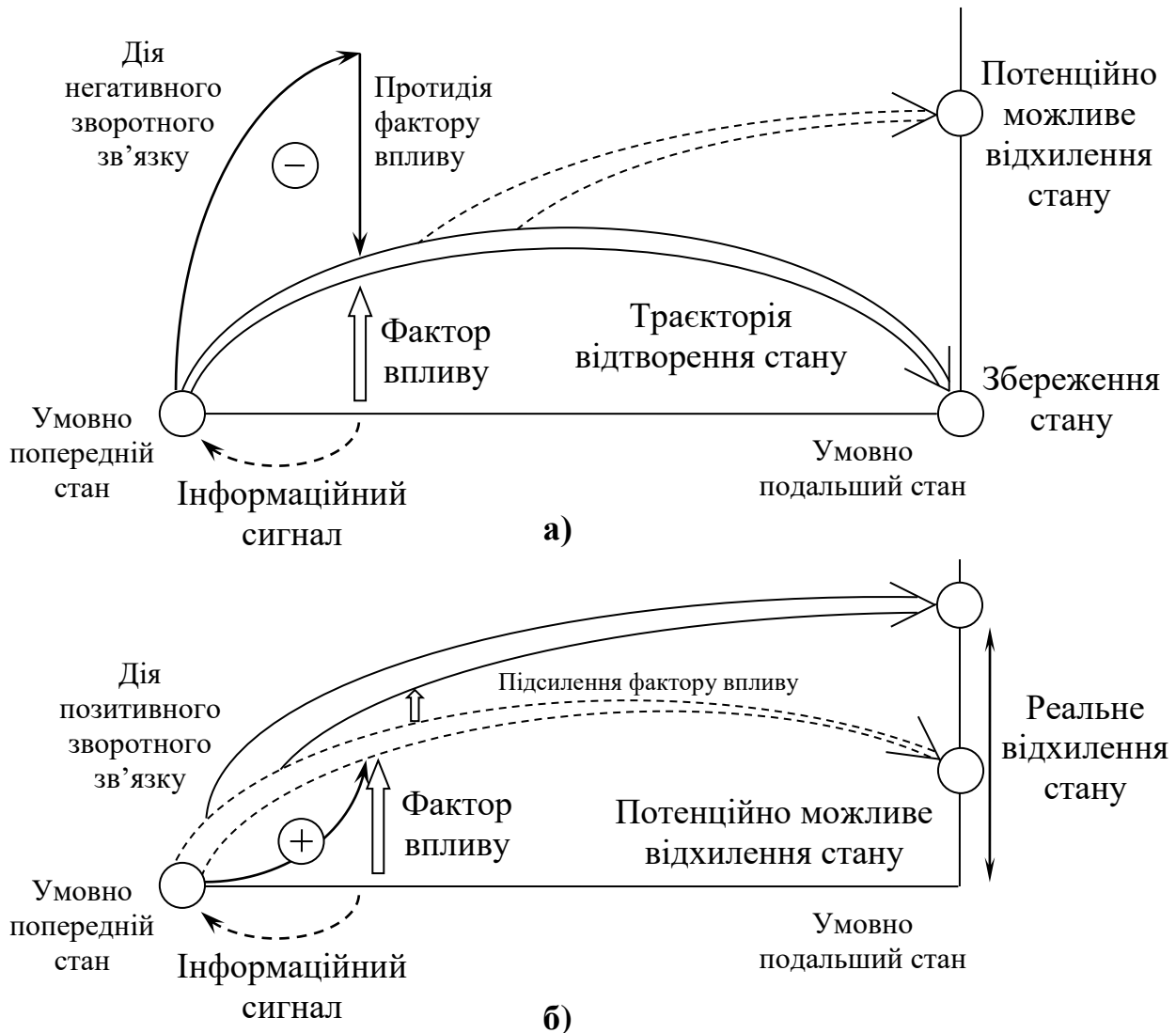


Рисунок 4.1 – Дія механізмів негативного (а) і позитивного (б) зворотного зв'язку

**Негативний зворотний зв'язок** – це реакція системи, при якій її дії у відповідь на дію фактору впливу спрямовані в протилежний бік від напрямку його дії. Інакше кажучи, система намагається протидіяти впливу зазначеного чинника, послаблюючи чи повністю нейтралізуючи наслідки його дії, щоб максимально зберегти свій попередній стан (рис. 4.1, а).

**Позитивний зворотний зв'язок** – це реакція системи, коли її дії у відповідь на дію фактору впливу спрямовані в ту ж саму сторону, що і вплив цього фактору. Іншими словами, система намагається посилити наслідки впливу фактора, змінюючи свій попередній стан (рівень гомеостазу) (рис. 4.1, б).

У першому наближенні різницю між механізмами негативного та позитивного зворотного зв'язку можна продемонструвати на кількох прикладах.



*Приклад 1.* Людину сильно штовхнули, і вона починає втрачати рівновагу. У неї два варіанти поведінки. *Перший* – спробувати втриматися на ногах. Щоб встояти, їй необхідно нахилитися в бік, протилежний напрямку падіння. Це і означатиме дію механізму негативного зворотного зв'язку. Якщо людина, що падає, встигне компенсувати кут нахилу від падіння за рахунок відхилення в протилежний напрямок – вона встоїть. Якщо ні – впаде з великою ймовірністю отримання травм, оскільки вся її енергія та увага витрачається на те, щоб утримати стан рівноваги, а не на те, щоб контролювати падіння. *Другий* варіант поведінки – не намагатися втриматися, а свідомо самому падати так, щоб шкода від падіння була мінімальною, наприклад, групуючись. Подібної техніки падіння зазвичай вчать спортсменів. У даному випадку діє механізм позитивного зворотного зв'язку – оскільки людина реагує, діючи в тому ж напрямі, в якому на неї впливає зовнішній чинник.

*Приклад 2.* Відомо, що при перевантаженнях технічні системи руйнуються. Як цього уникнути? Можливі дві стратегії. *Одна* – заснована на застосуванні механізму негативного зворотного зв'язку. Вона передбачає зміцнення конструкції. Підвищення порога міцності дозволяє компенсувати навантаження на систему зворотною реакцією конструкції. Щоправда, це допомагатиме лише доти, доки навантаження не вийде за певний поріг міцності (нехай навіть і збільшений). Далі система все одно руйнуватиметься. *Інша* стратегія ґрунтується на застосуванні механізму позитивного зворотного зв'язку, а саме – контрольованому руйнуванню системи. Логіка його така: якщо виникне навантаження, нехай система руйнується, але не вся. Спочатку має зруйнуватися вузол, який дасть можливість врятувати всю систему або найцінніші з її вузлів. На цьому принципі побудована робота запобіжників в електротехніці. Щось подібне відбувається у військовій авіації. Під час аварії літак починає розсипатися сам, але так, щоб з нього встигла катапультиватися кабіна з пілотом.

Значною мірою на подібних підходах засноване будівництво будівель у сейсмонезпечених районах. Конструкції мають можливість розгойдуватися (тобто використовувати контрольоване падіння), не руйнуючись.

Слід зазначити, що ціною впливу зворотного зв'язку є витрати вільної енергії (квазіенергії) системи. В разі реалізації механізмів негативного зворотного зв'язку енергія витрачається (або недоотримується), щоб підтримати стан системи на постійному рівні. У випадку позитивного зворотного зв'язку система змушена нести додаткові витрати на трансформацію (перебудову) свого стану (див додаток А).

Будь-яка жива чи суспільна система (клітина, організм, підприємство, держава) є нерівноважною структурою та проходить у процесі свого розвитку два види трансформацій. *Перший* пов'язаний з *віддаленням системи від стану динамічної рівноваги*. В цей час відбувається збільшення різниці потенціалів системи із зовнішнім середовищем та зростають можливості залучення до системи вільної енергії (хоча це пов'язано з додатковою дисипацією енергії та наростанням ризиків негативних наслідків). *Другий вид* трансформацій зорієнтований у зворотному напрямку: нерівноважна система *стабілізує* свій стан або навіть *наближається до стану рівноваги* (що дозволяє знизити дисипативні втрати енергії).

*Позитивний зворотний зв'язок* є тим видом механізмів, за допомогою яких система прагне посилити зовнішній вплив та ще далі відійти від стану рівноваги.

Наприклад, якщо в умовах конкуренції одне з підприємств отримає (нехай навіть випадково) певну перевагу в збуті продукції, вона за рахунок зростаючого доходу може збільшити абсолютну величину рекламного бюджету (при збереженні відносної частки рекламних витрат на рівні конкурентів). Більш значний рекламний бюджет дозволяє збільшити сферу свого впливу на ринку, що, в свою чергу, ще більше збільшує обсяг продажу та відрив від конкурентів.

*Негативний зворотний зв'язок спрямований на стабілізацію віддалення системи від стану динамічної рівноваги. У такому стані система знаходить свою стаціонарність і найбільш ефективний режим свого стійкого функціонування. З'являється можливість “перепочити” і накопичити вільну енергію для чергового стрибка, обумовленого використанням механізмів позитивного зворотного зв'язку та переходом від одного стаціонарного стану до іншого.*

## **2 Механізми негативного зворотного зв'язку**

За негативного зворотного зв'язку для компенсації змін впливу зовнішнього середовища включаються допоміжні механізми системи, що діють у напрямку, зворотному напрямку дії середовища. Саме тому вони називаються механізмами *негативного зворотного зв'язку*. З їхнім виявом нам доводиться стикатися щодня.

***Механізм негативного зворотного зв'язку забезпечує підтримку існуючого гомеостазу.***

Наш організм у будь-яких умовах зберігає постійну температуру, але для цього він, наприклад, при підвищенні температури зовнішнього середовища відкриває пори і посилює потовиділення, виводячи з конденсатом зайве тепло. Збільшення потреби у волозі змушує його частіше пити. На холоді відбувається зворотний процес: пори закриваються, випаровування вологи знижується, а непотрібні запаси води видаляються, але вже іншим шляхом.

Механізми негативного зворотного зв'язку діють у природі та в суспільстві, на використанні цього механізму засновано більшість регулюючих приладів у техніці.

Функції негативного зворотного зв'язку в живих організмах реалізуються системою фізіологічних регуляторних механізмів. Прикладом складної гомеостатичної системи, що включає різні механізми регулювання, є система забезпечення оптимального рівня артеріального тиску. Вона регулюється за принципом ланцюгових реакцій зі зворотними зв'язками: зміна тиску крові сприймається барорецепторами судин, сигнал передається до судинних центрів, зміна стану яких веде до зміни тонуусу судин та серцевої діяльності. Одночасно включається система нейрогуморальної регуляції і кров'яний тиск повертається до норми.

Можна виділити кілька видів та напрямків дії механізмів негативного зворотного зв'язку. За *видом компенсаційної реакції системи* умовно можна виділити два види механізмів: підвищувальні (інтенсифікаційні) і знижувальні (демпфіруючі).

***Підвищувальні механізми*** пов'язані з необхідністю діяльності системи, спрямованої “на підвищення” певних параметрів гомеостазу при зниженні відповідних параметрів зовнішнього середовища. В цьому випадку діяльність системи найчастіше пов'язана з додатковою активністю (інтенсифікацією).

***Знижувальні механізми*** спрямовані на зниження певних властивостей системи через відповідне підвищення характеристик зовнішнього середовища.

Наприклад, у разі зниження температури середовища організм за рахунок інтенсифікації кровообігу змушений стабілізувати температуру розігрівом. І навпаки, при підвищенні температури середовища організм “скидає” додаткове тепло завдяки підвищеному потовиділенню. Безумовно, обидва види механізмів пов'язані з витратами енергії.

За *напрямом дії* механізми, що розглядаються, умовно можна об'єднати в дві групи: ендогенну та екзогенну. *Ендогенна група механізмів* має внутрішньо-системну спрямованість і пов'язана зі зміною в самій системі. *Екзогенна група* спрямована на зміни параметрів зовнішнього середовища.

**Ендогенні механізми.** Можна виділити кілька основних напрямів реалізації ендогенних механізмів негативного зворотного зв'язку:

1. **Комплексні (здіяння механізмів усієї системи).** Цей напрям пов'язаний з перебудовою всього організму системи для “гасіння” несприятливих факторів впливу.

Зокрема, при терморегуляції тварин зазвичай задіюється практично весь потенціал організму: система кровообігу, шкіра, нервова система, органи виділення і т.д.

Мабуть, не випадково навіть термінологічно опис багатьох явищ і процесів в економічних системах часто схожий з описом біологічних і технічних систем. Так, в економічній літературі все частіше використовуються терміни “метаболізм” та “гомеостаз” (зокрема, “індустріальний метаболізм”, “гомеостатичний стан економіки”), які спочатку були включені в науковий обіг саме в біології.

Ще одним прикладом аналогій є поняття “перегрів” економіки. Під “*перегрівом*” економіки зазвичай розуміється стан економічної системи, за якого спостерігаються підвищені темпи її зростання, що виходять з-під контролю. Подібне явище супроводжується зростаючим споживанням ресурсів приватного та державного сектора. Після їх вичерпання вичерпуються і можливості економічного зростання, після чого настає рецесія. В даному економічному явищі вгадуються паралелі як з підвищенням температури біологічного організму (що “вимиває” з організму багато життєво необхідних мікроелементів, органічних речовин і порушує природні метаболічні (обмінні) процеси), так і з неконтрольованими реакціями розігріву технічних систем (наприклад, котлів або реакторів).

Описане явище “перегріву” економіки та подальшої фінансової кризи спостерігалось у більшості країн в період 2008-2010 років. Дуже символічно, що технічну модель подібних процесів доля “продемонструвала” на кількох ядерних блоках в Японії (провінція Фукусіма) на початку 2011 року. Порушення через природні катаклізми регламентного режиму функціонування ряду системних елементів електростанцій привело їх в кінцевому підсумку до катастрофічного руйнування. Одним з найбільш кризових моментів стало блокування відведення тепла з робочої зони реактора. Дуже нагадує ситуацію “перегріву” економіки.

2. **Резервні (створення резервних компенсаційних підсистем).** Іноді значно ефективніше задіяти не весь потенціал системи, а лише деякі її підсистеми.

Цим шляхом йдуть багато біологічних видів. У них загальносистемне регулювання доповнюється спеціалізованою функцією деяких органів (зазвичай шкіри або підшкірної клітковини). Верблюди для зазначених цілей резервують ресурси у своїх горбах. Більшість тварин рівномірно розподіляє запас у жирових накопиченнях. Саме жир найчастіше є компенсаційним фондом у разі виникнення проблем і з їжею, і з водою, і під час похолодання.

Такі суспільні системи, як держави, для виконання компенсаційних функцій створюють наділені ресурсами спеціалізовані органи. В більшості держав подібний орган називається відповідним чином – міністерство надзвичайних ситуацій (МНС). Є свої міні-МНС і на багатьох підприємствах. І, звісно, наявність таких компенсаційних фондів значно полегшує регулювання фінансових систем. До речі, у США центральний орган фінансового управління має назву – Федеральна резервна система.

3. **Буферні (створення буферних зон),** що пом'якшують вплив зовнішнього середовища. На відміну від попереднього напрямку, дія буферних механізмів спрямована не на компенсацію (“гасіння”) впливу фактора, а на його попередження, або зменшення амплітуди зміни факторів, що впливають. Зрештою, будь-які види впливу на систему народжуються у зовнішньому середовищі. Вибудувавши захисний бар'єр на кордоні з ним, система може значною мірою ко-

нтролювати процеси метаболізму (тобто обміну речовиною, енергією та інформацією із зовнішнім середовищем). В одному випадку вдається запобігти надходженню в систему *шкідливих речовин*, в іншому – демпфірувати (пом'якшити) *енергетичний вплив* (зокрема, зменшити перепади температур), у третьому випадку вдається захистити систему від згубного *інформаційного впливу*, який може зруйнувати чи пошкодити інформаційну структуру системи.

Наголосимо, що йдеться про захисний бар'єр *усередині самої системи*, хоч він і перебуває на її периферії.

Подібні захисні бар'єри мають: наша планета (кілька шарів атмосфери), її тверде ядро (грунт), живі організми (шкіра), підприємства (наприклад, вхідний контроль якості ресурсів, захист комерційної таємниці тощо), країни (охорона від зовнішньої експансії).

Функції захисного шару у хребетних тварин виконує шкіра. Саме шкіра є бар'єром від зовнішнього середовища та виконує ряд функцій: захисну (захищає тіло від механічного впливу та травм, проникнення різних речовин і мікроорганізмів), видільну (здійснює виділення різних продуктів обміну), чутливу (завдяки значній кількості розташованих у шкірі нервових закінчень), секреторну (здійснюється численними залозами), а у вищих тварин – терморегуляторну. Для полегшення останньої у багатьох тварин за час еволюції виробилися додаткові засоби, зокрема, підшкірний жир або потовщений роговий шар (пір'я у птахів, волосся у ссавців), що піддається періодичній зміні.

Людина пішла далі – вона винайшла одяг, який виконує функцію ще одного захисного шару, допускаючи при цьому гнучку трансформацію.

Звернемо увагу, що пазурі, роги, панцирі та дзьоби – теж частина шкіри, і засіб захисту від зовнішнього середовища. Здебільшого активного захисту.

За подібною схемою можна спробувати проаналізувати аналоги всіх перерахованих захисних функцій шкіри для підприємства та країни.

**Екзогенні механізми.** Ця група механізмів спрямована на корекцію умов зовнішнього середовища. В даному випадку система впливає на зовнішнє середовище з метою поліпшити умови свого метаболізму. Можна виділити кілька основних напрямів реалізації екзогенних механізмів негативного зворотного зв'язку:

1. **Буферні (створення буферних зон).** Ця група механізмів є аналогом механізмів формування подібних зон у самій системі. В даному випадку ізоляційні бар'єри створюються системою у зовнішньому середовищі. Як інструменти реалізації цього виду механізмів можна назвати зведені людиною захисти (огорожі), що запобігають прямим контактам зі шкідливими факторами зовнішнього середовища.

Найбільш простими прикладами такого захисту є звичайні механічні огороження: по периметру (огорожі) або по обсягу (приміщення). Вони можуть захищати від тварин (найпростіше – антимоскітна сітка), дощу (парасолька, дах), вітру, температур (будівлі або спеціальні захисти), води (дамби або дренажні пристрої) тощо. Окремими формами можуть бути захисти від різного виду впливу: світлового, теплового, шумового, електромагнітного, хімічного, біологічного (включаючи антиінфекційні), інформаційного, ін. Крім людини подібним інструментарієм користуються багато тварин. Згадаймо гнізда птахів та комах, брови греблі та багато іншого.

Іноді межа між ендогенними та екзогенними буферними механізмами буває досить умовною. Чи вважати різні види одягу екзогенним захистом? Строго кажучи, так. Але вони вже стали гармонійною приналежністю людини, що сприймається невід'ємно від неї. Скафандри та захисні маски, на щастя, такою невід'ємною оболонкою поки що не стали. До цієї ж групи захисних інструментів відносяться різні світлозахисні козирки, рукавички, окуляри, види взуття, мастила, покриття тощо.

В окремі підгрупи можна виділити:

- засоби захисту від інформаційного впливу;
- інформаційні засоби захисту.

Це не одне й те ж саме. *Засоби захисту від інформаційного впливу* передбачають попередження будь-якого виду впливу (частіше інформаційного), яке може зруйнувати саме інформаційний код організації системи.

Для суспільних систем таку небезпеку становить інформаційна агресія, яка порушує чи спотворює порядок (традиції, дисципліну) функціонування системи. Для біологічних систем джерелом такого впливу є віруси. Вторгаючись у клітину, вони руйнують інформаційну програму підтримки гомеостазу організму, викликаючи наслідки, які називають хворобою. Характерно, що це дуже нагадує вірусне “інфікування” комп’ютерів з подібними наслідками.

В якості захисних засобів від інформаційного впливу можуть використовуватися будь-які інструменти: механічні, фізичні, хімічні, ін.

Наприклад, прикордонні бар’єри від літератури, що ввозиться, штучні радіоперешкоди (“глушіння” ворожих радіостанцій) або антивірусні санітарні пов’язки.

*Інформаційні засоби захисту*, навпаки, використовують інформацію як засіб захисту від різних видів впливу. Найчастіше подібний захист будується на інструментах відлякування чи відчуження.

У тварин це можуть бути мітки або відлякуючі сигнали, що подаються в зовнішнє середовище. У людини подібні функції виконують різні види зброї, будь-які форми демонстрації сили. Та ж роль – у культурних, релігійних та соціально-психологічних бар’єрів, що перешкоджають проникненню (експансії) чужої культури чи ідеології.

**2. Фільтраційні (обробка метаболічних потоків).** Ця група механізмів використовується для адаптації обмінних потоків речовини, енергії та інформації, тобто доведення їх до оптимальних параметрів. При цьому можна виділити два основні напрямки:

- обробка вхідних потоків, тобто направлених *із середовища в систему*, з метою максимального наближення їх характеристик до параметрів гомеостазу;
- обробка вихідних потоків, направлених *із системи у середовище* (тобто відходів системи), з метою наблизити їх до оптимальних параметрів середовища.

Часто використання механізмів цієї групи здійснюється в поєднанні з інструментарієм попередньої групи або є її різновидом.

Найпростішими прикладами використання інструментарію першого напрямку є різні сита, сітки, фільтри. У промисловості функції попередньої обробки речовинно-енергетичних потоків можуть виконувати найскладніші технологічні системи (збагачення сировини, очищення води або повітря тощо). В суспільстві, зазвичай, застосовується обробка (дозування) інформації чи її цілеспрямоване коригування (тлумачення).

Важливу роль відіграє обробка зворотних потоків (із системи у середовище), яка виконує дві основні функції.

По-перше, оберігає середовище від несприятливих перепадів його параметрів. Середовище, яке є зовнішнім по відношенню до системи, саме по собі теж є системою, що має свої параметри гомеостазу. Відхилення їх від оптимальних характеристик може підірвати або серйозно порушити так звану *несучу здатність*. Остання характеризує здатність системи підтримувати рівень гомеостазу, за якого вона здатна ефективно виконувати свої функції життєдіяльності, включаючи відтворення ресурсної бази та здійснення процесів відновлення якості параметрів середовища.

По-друге, дуже часто обробка потоків, що виводяться з середовища, фактично перетво-

рюється на обробку введених, оскільки забір здійснюється там, куди здійснюється викид, тобто у середовищі.

**3. Кондиційні** (*кондиціювання умов середовища*). Механізми цієї групи пов'язані з перетворенням середовища, що безпосередньо дотикається до системи. Ці області простору зазвичай умовно називають *локальними*. Вплив системи спрямований на створення тут умов, максимально сприятливих для підтримки гомеостазу і підвищення ефективності процесів метаболізму. Як правило, кондиціювання можливе лише на основі розглянутих вище двох груп механізмів або є їх безпосереднім наслідком.

Зокрема, якщо забезпечити відносну ізоляцію локального простору, що примикає до системи, оптимальні умови тут можуть підтримуватися самі собою або формуватися під впливом сил природи. Так, більшу частину року житлові приміщення не потребують опалення. А бобрам для створення необхідних зазвезд достатньо побудувати греблю.

Людина досконало опанувала кондиціювання. Штучно створене ним житлове та промислове середовище простягається практично на всю планету і навіть вийшло в космос, де протягом майже двох десятиліть у космічних комплексах живуть і працюють люди.

До кондиціонування входить широкий спектр видів діяльності, яка спрямована на зміну або збереження (консервацію) будь-яких властивостей середовища – фізичних, хімічних, інформаційних. Це пов'язано не тільки з впливом на фізико-хімічні параметри (температуру, тиск, вологість, хімічні характеристики), а також із перетворенням ландшафтів, полегшенням умов для комунікацій (прокладання доріг, мостів, каналів тощо).

**4. Просторово-міграційні** (*просторова міграція*). Цей вид механізмів ґрунтується на використанні фактора просторової неоднорідності середовища. Замість зміни локальних умов середовища системі іноді виявляється більш вигідно переміститися в області простору, яким відповідають більш сприятливі для функціонування системи умови.

Подібним чином звірі кочують у пошуках більш сприятливих ресурсів після того, як вичерпалися попередні місця проживання.

Ті самі види механізмів широко використовуються людиною – саме так “мігрують” видобувні галузі промисловості. На цьому засноване скотарство та рибальство. Такий принцип покладено в основу гастролей акторів. Багато людей мігрують у пошуках роботи. І з цим пов'язана діяльність працівників сфери постачання та збуту більшості підприємств.

**5. Сезонно-міграційні** (*сезонна циклічність, або міграція у часі*). Якщо попередній вид механізмів заснований на використанні просторової неоднорідності середовища, то даний – на часовій. Йдеться про те, що система, не змінюючи просторового ареалу свого проживання, використовує циклічну змінність у часі умов середовища. Інакше кажучи, система вибирає найбільш сприятливі інтервали часу активізації процесів метаболізму.

Теоретично всі рослини і тварини використовують цю групу механізмів, оскільки всі життєві цикли синхронізовані відповідно до добових або річних циклів. Природа сама потурбувалася про те, щоб використовувати чинник неоднорідності середовища в часі. З найбільш яскравих прикладів можна назвати: нічне полювання багатьох тварин, сезонну вегетацію рослин, сезонні міграції птахів та риб, зміну активності комах за різних погодних умов та багато іншого.

Широко використовуються аналізовані механізми в діяльності людини. Найбільш помітна сезонність робіт у таких секторах економіки, як сільське та лісове господарство, будівництво, рекреація. Робляться спроби максимально використати фактор часу при встанов-

ленні літнього та зимового часу. Численні види сервісу встановлюють найбільш сприятливий режим роботи, виходячи з часових можливостей своїх клієнтів відволікатися для отримання послуг. Навіть гроші змінюють протягом доби сфери свого використання, знаходячи найбільш прибуткові цикли обороту. Існує навіть термін “нічні гроші”. Він стосується тих грошових потоків, які мігрують планетою в нічний час доби.

**6. Складно-міграційні (просторово-часова міграція).** Цей вид механізмів є поєднанням попередніх двох напрямів, коли система мігрує в часі і просторі.

Прикладом є міграція перелітних птахів. А в економіці – сезонна міграція капіталу, робітників тощо.

Міграція у просторі та часі виконує нібито двояку функцію. Раніше ми акцентували увагу на міграції системи в пошуку сприятливих умов існування. Але можна на цю групу механізмів поглянути і під іншим кутом зору, розглядаючи їх як *засіб захисту від несприятливих факторів*.

Щомоментна координація системи у просторі та часі – невід’ємна умова благополучного існування системи в цьому світі, запорука успіху в боротьбі за існування з ворогами, хижаками, природними умовами та невизначеністю подій, що наступають.

Тріумфи та невдачі у спортивних єдиноборствах – найкраща ілюстрація дієвості наступальних і захисних механізмів міграції у просторі та часі. Ефективність міграції економісти висловили емною формулою успіху на ринку: “потрібна річ – у потрібний час у потрібному місці!”

**7. Коопераційні (кооперування з іншими системами).** Одна з перспектив, яку може використовувати система для оптимізації зовнішніх умов свого існування – це поєднання з іншими системами. Фактично в цьому випадку реалізується спроба утилізації (тобто використання з вигодою) тієї дисипативної діяльності, яка неминуче пов’язана з існуванням системи.

*Дисипація енергії* – це її незворотне та марне розсіювання у зовнішнє середовище. Вона може відбуватися у формі безпосередньої втрати тепла або інших видів енергії, а може губитися з матеріальними відходами діяльності, що видаляються. І те, й інше може бути взаємокорисним для систем при їх кооперації. Відходи однієї системи можуть бути цінною сировиною для іншої. І навпаки. З іншого боку, кооперація дає додаткові переваги (економія енергії) під час здійснення життєвої діяльності.

Невипадково екосистеми будуються саме на принципі кооперації, що суттєво полегшує підтримку гомеостазу і дає дуже відчутну економію енергії системі. Природа за мільйони років еволюції винайшла та відшліфувала цілу низку форм екологічної кооперації зі своїми перевагами та недоліками, які вони несуть кожному виду. Взаємна вигідність – одна з рушійних сил явища синергізму в природі.

Однією з найбільш вдалих форм кооперації біологічних видів, що сприяє економії енергії на пристосування до умов навколишнього середовища, є **симбіоз**. У симбіотичних системах один з партнерів (або обидва) до певної міри покладають на іншого (або один на одного) завдання регулювання своїх відносин із зовнішнім середовищем. Основою для виникнення симбіозу можуть бути різні зв’язки: трофічні (живлення одного з партнерів за рахунок іншого залишками їжі, що не використовуються, продуктами травлення або його тканинами), просторові (поселення на поверхні або всередині тіла іншого, спільне використання нірок, будиночків, мушель і т.д.). В результаті симбіозу один з партнерів або обидва разом отримують можливість виграти в боротьбі за існування.

Щось подібне відбувається і в економіці, коли дрібніші підприємства, полегшуючи собі життя, “годуються” навколо великих фірм. Ця кооперація найчастіше вигідна і для останніх, які не витрачають своїх зусиль на виконання дрібної (а часто і “брудної”) роботи.

### 3 Механізми позитивного зворотного зв'язку

Стаціонарна система здатна підтримувати стан динамічної рівноваги тільки за рахунок використання виробленої нею ж вільної енергії. Однак що станеться, якщо динамічна рівновага все ж таки буде незворотно порушена, тобто вийде за межі “точки неповернення” до існуючого рівня гомеостазу? Ну, по-перше, причин цьому може бути дві:

- а) зміни в самій системі (система слабшає / стає сильнішою);
- б) зміни в навколишньому середовищі (воно стає менш сприятливим / більш сприятливим для підтримки гомеостазу).

Для самої системи ці причини важко помітні, оскільки ведуть до однакового наслідку, який можна сформулювати як “невідповідність ресурсів системи умовам середовища”. Іншими словами, система не може підтримувати стан динамічної рівноваги (гомеостазу) за існуючих умов середовища.

По-друге, можливі дві різні ситуації:

1. *Вільної енергії виявляється недостатньо, щоб “погасити” вплив зовнішнього середовища (воно “сприймається” системою як “надмірно жорстке”).*
2. *В системі накопичується надлишок енергії, яку вона “не встигає” витратити на свої потреби або розсіювати у навколишнє середовище (середовище “сприймається” як “надто сприятливе”).*

Тут слід наголосити на відносності поняття “сприятливе – несприятливе середовище”. Відповідно до принципу оптимальності, найбільш сприятливим діапазоном параметрів середовища є той, який максимально наближений до оптимальної “золотої середини”. Саме в межах цього оптимуму системі найлегше утримувати стан гомеостазу. Будь-яке відхилення в один чи інший бік – несприятливе для системи. Наприклад, для живих організмів однаково згубні холод і спека, зайва сухість і надмірна вологість, високий та низький тиск і т.д.

Але слід пам'ятати й інші аспекти. Виникненню умовно несприятливого стану середовища може сприяти і діяльність самої системи, коли через зміну процесів метаболізму в ній дещо “зміщується” стан гомеостазу. Так, людей похилого віку вже не гріє липнече сонечко, і навіть влітку вони ходять у валянках, а “квітучій” молоді нікуди подіти свої сили – і в морози вони ходять “нарозора”. Стан гомеостазу індивідуальний для кожної конкретної людини і може відрізнятися від значень середньостатистичного індивіда. Навіть для кожної конкретної людини він “ходить” навколо “середньої лінії” протягом її життя. Все це справедливо для будь-якої стаціонарної системи, яка може “опускати” або “підвищувати” рівень свого умовно “нормального” гомеостазу.

Трансформація рівня гомеостазу відбувається тоді, коли адаптивної здатності системи виявляється недостатньо, щоб при даних змінах середовища підтримувати незмінний рівень гомеостазу за рахунок механізмів негативного зв'язку. Таким чином, змінюватися доводиться знову ж таки самій системі. Цього разу вона включає те, що фахівці називають “*механізмом позитивного зворотного зв'язку*”. Позитивного – тому що зміни в системі відбуваються як би по ходу дії змін у зовнішньому середовищі.

Згадаймо, що нашою реакцією на небезпеку втратити рівновагу може бути не лише спроба її збереження, а й цілеспрямована (керована) її втрата.

Природною реакцією підприємства на зниження попиту на вироблену ним продукцію є застосування механізмів негативного зв'язку: посилення рекламної діяльності або підвищення якості продукції (і на те, і на інше підприємство змушене витратити додаткові кошти). Ще одним механізмом реалізації негативного зворотного зв'язку є зниження відпускної ціни (тоді відбувається зниження одержуваного прибутку). Однак, якщо вжиті заходи не



принесли очікуваного результату (обсяги реалізації продукції продовжують падати або витрати на застосування механізмів негативного зворотного зв'язку переходять критичний рубіж рентабельності продукції), підприємство змушене “включати” механізми позитивного зворотного зв'язку – відмовлятися від випуску цієї продукції та переходити на нові товари.

У разі дії механізму позитивного зворотного зв'язку система перебудовує свою організаційну структуру, змінюючи при цьому і рівень гомеостазу.

***Механізм позитивного зворотного зв'язку спрямований на трансформацію рівня гомеостазу.***

За видами зміни рівня гомеостазу трансформації систем умовно можна класифікувати на три групи:

1. Ті, що підвищують рівень гомеостазу.
2. Ті, що знижують рівень гомеостазу.
3. Ті, що імітують зміну рівня гомеостазу.

Останні пов'язані не так зі зміною реального рівня гомеостазу, як із зовнішніми його проявами. Зазвичай це пов'язано з реалізацією будь-яких захисних функцій системи.

Подібний метод широко використовується в техніці та є методом захисту всієї системи. Тут квазіруйнування системи викликається цілеспрямованим зломом спеціальних захисних вузлів-запобіжників. Руйнування одного вузла запобігає руйнуванню всієї системи. Як тут не згадати ящірку, у якої втрата хвоста рятує життя.

Прийомам імітації користуються багато тварин, які імітують свою слабкість або навіть смерть заради порятунку життя. Часто таким чином птахи відволікають (відводять) потенційних ворогів від своїх гнізд із пташенятами.

Імітаційні прийоми використовуються і людиною в економіці, політиці, військовій справі, спорті. Мета – приспати пильність, обдурити, тактично переграти конкурентів або противників. Поширеним прийомом є “прибіднення”. Професійні зебраки прагнуть виглядати ще потворнішими, а бідні країни – ще біднішими, щоб отримати милостиню.

Імітувати можна як зниження гомеостазу, так і його підвищення. Так, багато країн або фірм імітують своє процвітання для отримання кредитів. Подібний прийом є улюбленим також у шахраїв, які присипляють своїм зовнішнім благополуччям пильність потенційних жертв.

Трансформації гомеостазу за *характером оборотності* змін, що відбуваються, можна диференціювати на дві групи: *оборотні* та *необоротні*.

*Оборотні трансформації* передбачають можливість повернення до попереднього рівня гомеостазу без якісних змін у системі.

Подібним чином багато тварин, впадаючи в сплячку та суттєво знижуючи параметри гомеостазу взимку, спокійно повертаються до попереднього рівня метаболізму навесні.

В економіці подібну стратегію тимчасової оборотної зміни гомеостазу практикують багато секторів економіки та підприємств, пов'язаних із сезонними видами робіт.

*Необоротні трансформації* пов'язані з неможливістю повернутися до попереднього якісного стану системи. Навіть спроба повернення до колишнього рівня гомеостазу не може повернути колишній якісний стан системи.

Так, трансформації гусениці в лялечку, а потім лялечки в метелика є незворотними.

В економіці такі трансформації пов'язані з реструктуризацією підприємств та галузей. Повернення до старого стану виявляється вже неможливим через втрату багатьох зв'язків, що існували як усередині самої системи, так і поза нею.

***Трансформаційні механізми*** за *характером післятрансформаційних змін* системи можна диференціювати на дві групи:

- 1) механізми, що *не змінюють* характерних ознак системи (*адаптаційні*);

2) механізми, що *змінюють* характерні ознаки системи, після яких колишня система припиняє існувати, перетворюючись на свою наступницю (або наступників системи) (*біфуркаційні механізми*).

Докладніше ці два види трансформацій будуть розглянуті в іншій темі.

Позитивні зворотні зв'язки мають властивість *самопосилення*. Чим сильніше вони діють, тим більший імпульс отримують до посилення.

Чим більше людей захворіли на грип, тим більше вони заразять інших.

Чим більше дітей народилося, тим більше людей виросте та народить інших дітей.

Чим більше грошей у вас в банку, тим більше дивідендів ви отримаєте і тим більше грошей матимете в банку.

Чим більша ерозія ґрунту, тим менше рослин може на ньому рости, а отже менше буде коріння, що утримує ґрунт, та листя, що пом'якшує удари дощових крапель і вітрів, – тобто створюються передумови для ще більшого посилення ерозії.

Чим більше високоенергетичних нейтронів, тим більше вони розбивають атомних ядер і тим більше їх з'являється.

Чим вищі досягнення у спорті, тим вища винагорода.

Значною мірою механізм самоприскорюваного зростання підприємств за рахунок дії позитивного зворотного зв'язку може посилюватися ринковими чинниками.

Це, зокрема, можна простежити на прикладі входження на ринок кількох конкуруючих виробників якісно нового товару. Переваги, отримані з різних причин на початковому етапі одним з підприємств, надалі посилюються, закріплюючи його відрив від конкурентів.

*Контрольовані* позитивні зворотні зв'язки (тобто такі, що врівноважуються механізмами негативного зворотного зв'язку) є джерелами розвитку (зростання). *Неконтрольовані* позитивні зворотні зв'язки можуть послужити як імпульс, що ініціює вибух, руйнування, колапс системи, яка руйнується. Ось чому спостерігати подібні явища доводиться не так часто. Зазвичай рано чи пізно система змушена “вмикати” механізми негативного зворотного зв'язку.

Якщо не вжити необхідних заходів, епідемія охопить всіх схильних до зараження людей і лише тоді піде на спад. Зазвичай люди намагаються докласти активних зусиль, щоб уникнути зараження. І завдяки цьому механізму негативного зворотного зв'язку епідемія опиняється під контролем.

Якщо не контролювати народжуваність, перенаселення території рано чи пізно призведе до збільшення смертності. На тлі надзвичайно низького соціально-економічного рівня життя людей це може зіграти роль механізму контролю за збільшенням чисельності населення за допомогою посилення негативного зворотного зв'язку.

Інтенсивна обробка землі спочатку приносить хороші результати в сільськогосподарському виробництві. Це викликає бажання підвищити рівень експлуатації земель. Рано чи пізно це веде до зростаючої ерозії земель. Зрештою ґрунт повністю вивітриться до скельних порід. Чим раніше буде усвідомлена згубність подібної поведінки та необхідність використання стримувальних механізмів, тим меншу ціну за це доведеться заплатити. Спочатку буде досить просто знизити інтенсивність обробки земель (наприклад, перейти від плугів до плоскорізів), далі знадобиться вже відмовитися від інтенсивної обробки земель (наприклад, обмежити їх використання пасовищним скотарством). Якщо процес ерозії зайшов дуже далеко, знадобляться більш серйозні заходи (наприклад, спорудження спеціальних ґрунтозахисних огорож, створення лісозахисних смуг, заліснення ярів тощо).

У наведених прикладах можна простежити загальну закономірність. Для системи існує два альтернативні варіанти розвитку подій. Перший – якщо позитивний зворотний зв'язок реалізується безконтрольно, а другий – якщо вжито

заходів для обмеження його самопосилення.

Більш *переважним* для системи є зниження інтенсивності використання механізмів позитивного зворотного зв'язку. Це означає, зокрема, уповільнення зростання системи і зазвичай є для неї більш сприятливим, ніж спроби за рахунок посилення негативних зворотних зв'язків стримувати неконтрольовані механізми позитивних зворотних зв'язків.

Якщо проводити паралель з водінням автомобіля, то краще прибрати ногу з педалі газу, ніж одночасно натискати і на неї, і на педаль гальма.

Контрольоване використання механізмів позитивного зворотного зв'язку зазвичай щедро винагороджує тих, хто вмів цим користуватися. Формами такої нагороди бувають економічні успіхи, визнання суспільства, впевненість у власних силах. Все це стимулює повторення успіху вже у більшому масштабі. В економічній літературі це отримало назву “петлі від успіху до успішності”.

#### 4 Механізми зворотного зв'язку в природі та суспільстві

Механізми зворотного зв'язку є основними факторами функціонування та розвитку природних і суспільних систем. Відкриті стаціонарні системи становлять основу нашого світу, а механізми зворотного зв'язку забезпечують реалізацію функції стаціонарності, сприяючи підтримці існуючого гомеостазу. За їх допомогою також реалізується необхідна його трансформація у разі зміни умов зовнішнього середовища.

Послідовна дія механізмів негативного і позитивного зворотного зв'язку може призводити до так званого ефекту рикошету, або ефекту бумеранга. Під *ефектом рикошету (бумеранга)* слід розуміти вторинні наслідки дії механізмів негативного зворотного зв'язку, внаслідок чого досягаються результати, зворотні цілям, заради яких були використані зазначені механізми. Часто негативні вторинні наслідки ефекту рикошету перевищують позитивні первинні наслідки, досягнення яких було метою вжитих заходів.

Ефект рикошету є наслідком кількох дистанційованих у часі *фаз*:

*перша фаза*: з низки причин (внутрішніх чи зовнішніх) відбувається погіршення стану системи;

*друга фаза*: погіршення ситуації змушує систему “включати” механізми негативного зворотного зв'язку, спрямовані на вирішення проблем, що виникли;

*третья фаза*: починає проявлятися *первинний* ефект – завдяки вжитим заходам стан системи починає покращуватися (зокрема, за рахунок зниження інтенсивності діяльності системи);

*четверта фаза*: покращення ситуації дозволяє системі “відключити” механізми негативного зворотного зв'язку та “включити” механізми *позитивного* зворотного зв'язку, спрямованого знову на інтенсифікацію діяльності системи;

*п'ята фаза*: проявляється *вторинний* ефект, який фактично є наслідком заходів (у довгому ланцюжку причин і наслідків), вжитих ще на другій фазі; результатом цього є знову погіршення стану системи, яке за своїми наслідками може бути значно гіршим, ніж у ситуації, що мала місце на першій фазі.

Ефекти рикошету (бумеранга) дуже часто зустрічаються у повсякденному

## ЖИТТІ ТА ДІЯЛЬНОСТІ ЛЮДИНИ.

**Погіршення здоров'я** змушує людину вживати заходів, спрямованих на активізацію механізмів *негативного* зворотного зв'язку (пройти лікування, знизити навантаження, зменшити обсяг виконуваної роботи, зняти зовнішні симптоми прояву хвороби). Відчувши себе краще, людина знову повертається до звичного ритму і, збільшуючи навантаження на організм, намагається надолужити втрачене. Стан здоров'я знову погіршується, можливо, з набагато важчими наслідками. Описана ситуація фактично є моделлю вирішення багатьох проблем економіки.

**Транспортна проблема** у місті виникає зазвичай з двох причин:

- а) через зростання кількості транспортних засобів;
- б) через невідповідність інфраструктури зростаючій кількості автомобілів.

Наслідком обох причин є катастрофічне погіршення транспортної ситуації на вулицях міст (нескінченні затори, відсутність місць для паркування, посилення забруднення атмосфери тощо). На цю проблему система починає реагувати механізмами *негативного* зворотного зв'язку за двома напрямками. По-перше, знижується кількість бажаючих володіти або користуватися автомобілями. Багато людей, навіть маючи власний автомобіль, часто вважають за краще користуватися громадським транспортом. По-друге, міська влада намагається покращити інфраструктуру (розширюються дороги, змінюються режим та напрямки проїзду вулицями, організуються додаткові місця паркувань). Щойно завдяки вжитим заходам транспортна ситуація трохи покращується, включаються механізми *позитивного* зворотного зв'язку: кількість бажаючих їздити на автомобілі вулицями міст зростає, і місто накриває нова хвиля транспортної проблеми.

Початком *економічної кризи* можна вважати ситуацію, коли через обмежений попит населення на товари та послуги починає знижуватися їх споживання. Це змушує виробників "підстьобувати" його за допомогою механізмів *негативного* зворотного зв'язку (зокрема, за рахунок пільгових кредитів). На деякий час споживання знову зростає (відбувається реалізація механізмів *позитивного* зворотного зв'язку). Але рано чи пізно кредити доводиться віддавати. До того ж, більшість з них виявляються неспроможними (тобто взятими під очікування "хорошого життя", яке так і не настало). Обсяги продажів знову різко скорочуються. На країну накочується перша хвиля фінансової кризи: купівельна спроможність населення стрімко скорочується; підприємства, втрачаючи ринки збуту, знижують виробництво товарів (виробів та послуг); звільняється значна кількість працюючих, що ще більше "б'є" по купівельній спроможності населення. Намагаючись поживити економіку, держава вживає ряд заходів з підтримки бізнесу (знижується облікова ставка, зменшуються податки, ряд підприємств і банків отримує субсидії, списується ряд боргів).

Деяке поживлення економіки породжує нові надії. Багато хто кидається "надолужувати втрачене". Однак основи економіки залишаються колишніми, і резерви поживлення швидко вичерпуються. Країну накриває другий вал кризи.

Лише скоординоване у часі та просторі використання механізмів позитивного і негативного зворотного зв'язку дозволяє системі забезпечити режим максимальної ефективності. Для економічних систем це означає поєднання фундаментальних знань у галузі економіки та високого мистецтва управління, заснованого на досвіді господарської діяльності.

Розглянуті в темі механізми торкаються, переважно, питання стійкості системи. При цьому механізми *негативного зворотного зв'язку* забезпечують **поточну** стійкість системи (підтримка поточного гомеостазу), а механізми *позитивного зворотного зв'язку* стосуються питань **майбутньої** стійкості системи, яка настане після трансформації нинішнього рівня гомеостазу.

**Стійкість** – одна з необхідних умов розвитку системи. Її характеристики розглянуто в наступній темі. Іншою, не менш важливою умовою, є її **мінливість**. Механізми, які забезпечують здатність системи змінюватись, будуть розглянуті в одній з наступних тем.

## Тема 5. Характеристики стійкості систем

1. Витривалість системи.
2. Толерантність і резистентність.
3. Стабільність та стійкість системи.

При дослідженні проблем розвитку надзвичайно важливим моментом є аналіз характеристик стійкості систем. Це дозволяє глибше зрозуміти багато особливостей і меж впливу на системи.

Серед основних характеристик стійкості систем можна назвати: *витривалість, стійкість, опірність, толерантність, адаптивність*.

### 1 Витривалість системи

**Витривалість** – це здатність системи зберігати свої функціональні особливості або можливості їх відновлення при відхиленні умов зовнішнього середовища від оптимальних для системи параметрів. Іншими словами, йдеться про збереження будь-яких форм існування системи (включаючи латентні – тобто пригнічені, приховані), що дозволяють уникнути незворотної зупинки її функціонування (тобто руйнування, смерті). Витривалість також може трактуватися як здатність системи уникати незворотного припинення функціонування під впливом зовнішніх факторів. Ця характеристика є одним з провідних параметрів, що визначають стійкість системи.

Деякі біологічні організми здатні витримувати виключно несприятливі умови зовнішнього середовища. Це їм вдається завдяки дії механізмів позитивного зворотного зв'язку. В результаті організм вводиться в стан *гіпобіозу* (глибокого уповільнення життєдіяльності, стану сплячки у тварин) або *анабіозу* – повного, але оборотного завмирання всіх життєвих процесів, як у спор, насіння та багатьох нижчих тварин.

В якості аналогів поняття *витривалість* по відношенню до різних типів систем використовуються й інші терміни. Зокрема, стосовно біологічних організмів часто говорять “живучість”. У техніці користуються поняттям “надійність”, в суднобудуванні – “плавучість” (і навіть “живучість”).

Якщо говорити, наприклад, про “*витривалість*” підприємства, то вона формулюється під впливом цілого комплексу факторів зовнішнього середовища, основні з яких представлені на рис. 5.1 [4; 5].

Не важко помітити, що частина зазначених факторів впливає на виробничу сферу підприємства, частина – на сферу реалізації продукції. Крім того, на витривалість підприємства впливає ціла низка внутрішніх чинників самого підприємства, які за вмілого керування підприємством і контролю над цими чинниками можуть посилювати його “витривалість”. І навпаки – при прорахунках і помилках, що сприяють втраті контролю за цими факторами, витривалість підприємства знижується. До таких внутрішніх чинників можна віднести:

- стратегію розвитку підприємства;
- рівень маркетингової діяльності;
- рівень організації виробничих структур та менеджменту;
- організацію системи логістики;

- рівень кваліфікації працюючих;
- рівень якості (технології та дизайну продукції);
- якість інноваційно-інвестиційної політики;
- режим фінансування;
- рівень диверсифікації виробництва;
- ступінь державної підтримки.



Рисунок 5.1 – Основні зовнішні фактори, здатні погіршити стан підприємства

Витривалість системи залежить від двох найважливіших *параметрів*:

– *ступеня відхилення* факторів зовнішнього середовища від оптимального значення;

– *періоду часу* функціонування системи в несприятливому режимі.

При цьому другий параметр найчастіше виявляється критичним.

Можна припустити, наприклад, що з якихось причин для підприємства буде заблоковано шляхи постачання ключових ресурсів або реалізації його продукції. Навіть повна вимушена зупинка підприємства з будь-якої з причин, як правило, не є критичною для його існування. Допущене відставання будь-якої зі сторін діяльності підприємства може бути надолужене більш інтенсивною роботою в наступні дні. Нестача оборотних коштів у принципі може бути компенсована отриманням кредиту або запозиченими фінансовими ресурсами з інших джерел. *Критичним* може виявитися *період*, протягом якого підприємство змушене функціонувати в несприятливому режимі. Причому, *чим більший ступінь відхилення* певного чинника середовища від оптимальних значень, *тим коротший період часу* підприємство здатне витримувати несприятливий режим роботи по даному фактору.

Слід зазначити, що дія несприятливих факторів може мати певний синергетичний ефект, у тому сенсі, що вони можуть посилювати дію один одного.

Наприклад, якщо підприємство при нормальній роботі банківської системи (і можливості отримання кредитів) здатне витримати кілька тижнів затримок зі збутом своєї продукції, то при порушенні системи кредитування цей період може бути значно меншим.

Витривалість – це складне явище, що формується під впливом багатьох взаємопов'язаних факторів, здатних посилювати, послаблювати, а іноді й повністю нівелювати вплив один на одного.

Зокрема, підприємство може роками випускати та реалізовувати збиткові види виробів, компенсуючи збитки прибутком, який отримується за рахунок інших виробів, що випускаються. Часто це робиться навмисно з багатьох причин. Іноді – є своєрідною спонсорською підтримкою малозабезпеченого населення, іноді зароблений такою імідж соціально орієнтованого підприємства окупається за рахунок збільшення обсягу продажів супутніх товарів, а іноді подібна міра необхідна для довготривалого утримання за собою певних сегментів ринку і може коли-небудь окупатися зміною економічної кон'юнктури.

Ще одним важливим фактором, що сприяє підвищенню “витривалості” підприємства, є державна підтримка. Вона може виявлятися у різних формах:

- державних закупівель продукції, що випускається;
- пільгового кредитування певних видів діяльності (у багатьох країнах так підтримується сільське господарство);
- прямого або непрямого субсидування певних виробництв;
- дотування покупок населення на певні види товарів (у багатьох країнах Євросоюзу так підтримується виробництво екологічно орієнтованих та енергозберігаючих товарів);
- субсидування урядом наукових розробок соціально значущих та економічно орієнтованих товарів;
- дотування урядом частини підприємницького ризику щодо впровадження у виробництво соціально значимих та економічно орієнтованих товарів.

## 2 Толерантність і резистентність

Іноді як синонім *витривалості* використовується термін *толерантність*. Ці поняття дуже близькі за значенням, хоча їх сенсовий зміст дещо відрізняється.

**Толерантність** (від лат. *tolerantia* – терпіння) характеризує здатність системи сприймати ті чи інші несприятливі параметри довкілля. Найчастіше цей термін застосовується при бажанні висловити ставлення до конкретних чинників середовища.

Наприклад, організми можуть бути толерантними до охолодження, нагрівання, висихання, голоду, дефіциту кисню і т.п. Це означає, що вони можуть витримувати значні відхилення в несприятливий бік перелічених параметрів.

Птахи можуть витримувати температуру тіла до 46,6°C, ссавці – більше 42°C, тихоходи (безхребетні, що поєднують риси черв'яків і членистоногих) виживають при охолодженні тіла до -190°C (зовнішні температури можуть бути, відповідно, вищими і нижчими).

Рослини можуть бути: вологостійкими, посухостійкими, морозостійкими тощо.

Однак толерантність з легкої руки біологів несе ще одне значення, яке виходить за межі смислового поля *витривалості*. В біології бути толерантним (терпимим) означає *не чинити опору* (зокрема, агресивного) будь-якому фактору, що чинить вплив.

Найчастіше витривалість з урахуванням толерантності передбачає саме *пасивні механізми* системи витримувати вплив несприятливих чинників (зазви-

чай з урахуванням механізмів позитивного зворотного зв'язку). Проте можлива і протилежна реакція толерантності, тобто на основі активної протидії (найчастіше за рахунок механізмів негативного зворотного зв'язку), спрямованого на пригнічення (нейтралізацію, пом'якшення, зниження) діючих факторів. Подібна реакція називається *резистентністю*.

**Резистентність** (від лат. *resistere* – протистояти, чинити опір) характеризує здатність системи протидіяти впливу негативних чинників довкілля чи пригнічувати їх вплив.

Зокрема завдяки гарному імунітету організм людини може активно придушувати інфекційну атаку ззовні. Наявність у ньому активних антитіл обумовлює також несприйнятливості до будь-яких шкідливих агентів чи отрут.

**Сумарна дія ефектів толерантності та резистентності обумовлює витривалість системи.** Слід зауважити, що явище толерантності засноване, головним чином, на реалізації механізмів позитивного зворотного зв'язку та трансформації рівня гомеостазу, а феномена резистентності – на реалізації механізмів негативного зворотного зв'язку та підтримки стабільного рівня гомеостазу.

Толерантність та резистентність у багатьох випадках не альтернативні. У тому чи іншому співвідношенні вони зустрічаються у всіх організмів, часто доповнюючи одна одну. Одна й та ж рослина або тварина може бути толерантною по відношенню до одного фактора і резистентною по відношенню до іншого. Буває, що організм, який вичерпав ресурс резистентності, виявляється маловитривалим. Теплокровна миша, що потрапила в крижану воду, швидко гине – вона бореться з переохолодженням розігрівом свого тіла за рахунок значних витрат енергії. А холоднокровний легко переносить таке охолодження, лише трохи знижуючи свою рухливість.

Можна навести й інші приклади, коли надмірна толерантність систем організму може призвести до зниження його витривалості. Наприклад, відсутність опірності організму до тих чи інших речовин (зокрема, алкоголю) може викликати звикання та подальшу залежність.

В екосистемах небезпеку становить відсутність у будь-яких біологічних видів (наприклад, кроликів в Австралії, колорадського жука в Європі) природних антагоністів (ворогів). Експансія даних видів може призводити до серйозних порушень балансу в екосистемах, аж до повної зміни їх структур.

І на рівні організму, і на рівні екосистеми причини проблем схожі: надмірна толерантність системи веде до того, що новий агент легко включається до процесів метаболізму. Це і веде до порушення або повного руйнування системи.

Для економічних систем властивість толерантності та резистентності багато в чому залежать від уміння їхнього керівництва, а також існуючої інституційної основи використовувати відповідно механізми позитивного та негативного зворотного зв'язку. Перші – забезпечують можливість гнучкої адаптації до умов середовища і трансформації в залежності від змін, що відбуваються. Другі – дозволяють агресивно протистояти змінам, що відбуваються. І для перших, і для других система повинна володіти необхідним рівнем кваліфікації (знаннями, навичками, світоглядом, особистісними якостями) керівників, що визначають стратегію і тактику здійснюваного курсу, достатнім запасом фінансового потенціалу (інвестиційних коштів, капіталу), інституційного забезпечення, що формує соціальну пам'ять подібної поведінки, а також необхідними якостями виконавчого персоналу, що реалізує рішення вищого керуючого рівня.



### 3 Стабільність та стійкість системи

Витривалість, хоч і є важливим параметром, але не може повною мірою охарактеризувати особливості процесів розвитку системи. Головне, що поза увагою залишаються властивості системи, відповідальні за її стабільну поведінку і, зрештою, за темпи розвитку.

В якості таких показників використовують два основні параметри – стабільність і стійкість. Головна відмінність між ними в тому, що перший характеризує залежність поведінки системи від внутрішніх чинників, а другий – від зовнішніх.

**Стабільність** (від лат. *stabilis* – діючий в незміненому вигляді) – здатність системи зберігати свою структуру і функціональні особливості під впливом внутрішніх для неї факторів, наприклад, накопичуваних продуктів обміну.

**Стійкість** – це здатність системи зберігати при різних параметрах зовнішнього середовища свою структуру і функціональні особливості, достатні для діяльності.

Характеристики стабільності та стійкості є взаємопов'язаними поняттями. При цьому можна визначити такий логічний зв'язок. *Стійкість* системи залежить від:

а) її здатності реагувати на зовнішній вплив середовища (тобто толерантності та резистентності);

б) стабільності самої системи, яка визначається її внутрішніми факторами.

На відміну від витривалості стійкість характеризує здатність системи не просто існувати, але активно функціонувати.

Саме характеристики *стійкості* та *стабільності* обумовлюють підтримку системи на відносно високому рівні властивостей і функціональної активності. Це є вирішальним фактором виробництва вільної енергії в системі і, зрештою, визначає темпи її розвитку.

Таким чином, принципова відмінність між функціями витривалості та стійкості може бути виражена наступним чином: *витривалість дозволяє системі вижити (вціліти), а стійкість створює умови для розвитку.*

Характеристикою, зворотною *витривалості* та *стійкості* системи можна вважати її *вразливість*.

**Вразливість системи** – це нездатність протистояти зовнішнім впливам. Виражається в порушенні функцій та структури системи (межа стійкості) або у повному припиненні існування системи (межа витривалості).

Можна назвати цілий ряд наслідків підвищеної вразливості системи. На рівні окремих організмів – це хвороби, фізіологічні порушення (порушення росту – у тварин, пожовтіння та несвоєчасне опадання листя – у дерев, ін.). На рівні екосистем – це зникнення зі складу екосистеми вразливих видів (наприклад, загибель хвойних порід через кислотні опади).

**Вразливість економічних систем** обумовлена двома групами факторів:

– фактори, що відображають *умови виробництва* (ціни на ресурси та супутні послуги, доступність їх отримання, стан технологій тощо);

– фактори, що відображають *умови реалізації* продукції (попит на цю

продукцію, платоспроможність потенційних споживачів, існуючі на ринках збуту обмеження та стандарти для даного виду продукції тощо).

Зокрема, вразливість металургійних підприємств значною мірою залежить, з одного боку, від *цін на енергоносії* (що обумовлено високою енергоємністю техпроцесів), з іншого боку, від *кон'юнктури на міжнародних ринках* металу та *курсу національної валюти* (що обумовлено експортоорієнтованим характером продукції, що випускається).

До вже згаданих факторів слід додати *тарифи на залізничні перевезення* (що обумовлено високою матеріаломісткістю використовуваних ресурсів і готової продукції).

Для підприємств, орієнтованих на вітчизняного споживача (будівництво, сфера послуг), найбільш вразливим чинником є платоспроможність потенційних клієнтів.

Дуже важливим фактором вразливості підприємств завжди залишається законодавча основа, що визначає фінансові умови господарювання. Для багатьох малих підприємств України, наприклад, фатальною може виявитися заборона іншим підприємствам включати вартість послуг, наданих приватними підприємцями, у собівартість виробленої продукції. Для останніх це означає втрату основного ринку потенційних клієнтів.

Ще однією характеристикою стійкості системи, пов'язаною з усіма перерахованими вище, є еластичність.

**Еластичність системи** – це її здатність відновлювати числові значення параметрів свого стану (повертатися в попередній стан) після зняття навантажень, що впливають на систему.

На відміну від інших характеристик (*витривалості, стабільності, стійкості*), при визначенні еластичності робиться акцент не на відновленні будь-яких функціональних особливостей системи, які можуть реалізовуватися і при зміненому стані системи, але саме на відновленні **в незмінному вигляді** (або майже в незмінному вигляді) основних параметрів системи: її структури та змісту основних компонентів.

## Тема 6. Мінливість систем: фактори та механізми трансформації

1. Сутність і види трансформаційних механізмів.
2. Особливості біфуркаційних механізмів.
3. Основні характеристики трансформації.

### 1 Сутність і види трансформаційних механізмів

Як уже зазначалося в попередній темі, основним засобом забезпечення стійкості системи є підтримка її динамічного рівноважного стану. При цьому система може перебувати в одному з двох можливих її режимів:

- а) підтримки стану стаціонарності (певного рівня гомеостазу);
- б) зміна даного стаціонарного стану та перехід на новий стаціонарний рівень (новий рівень гомеостазу).

Останній режим функціонування системи пов'язаний із *суттєвою перебудовою* метаболічних потоків у системі та зміною характеру її внутрішніх та зовнішніх зв'язків. Подібні зміни в системі забезпечуються відповідними трансформаційними механізмами.

Під *трансформаційним механізмом* (тобто механізмом зміни) відкритих стаціонарних систем слід розуміти сукупність логічних зв'язків і процедур, що забезпечують зміну стану системи (рівня гомеостазу) в сукупності її внутрішніх та зовнішніх зв'язків.

Академік Н.М. Моїсеєв виділив два основні класи трансформаційних механізмів: адаптаційні та біфуркаційні.

Термін “біфуркаційний” походить від латинського “біфуркація”, що означає “роздвоєння, розгалуження” (bis – двічі, furca – вили). Чому використовується саме цей термін, спробуємо розібратися нижче.

*Адаптаційні механізми* припускають такий характер змін у системі, який дозволяє їй пристосовуватися до впливів довкілля без втрати своїх принципових відмінних ознак. При адаптаційному механізмі, попри всі зміни, система продовжує зберігати свою цілісність, тобто залишається сама собою: біологічний організм (особина) – тим же біологічним організмом, сім'я – сім'єю, фірма – фірмою, військовий підрозділ – військовим підрозділом, держава – державою.

*Біфуркаційні механізми* припускають такий характер змін у системі, при якому система *втрачає її принципові відмінні ознаки, переходячи в нову якість*, хоча і зберігаючи спадковий зв'язок з колишнім станом.

При біфуркаційному механізмі система втрачає свою цілісність, переходячи в нову якість:

- біологічний вид зберігає своє існування через послідовну зміну поколінь;
- сім'я може роз'єднатися або з'єднатися з іншою сім'єю, зберігаючи деякі традиції (підвалини) колишньої сім'ї;
- фірма може бути реорганізована (укрупнена, розукрупнена, змінити свою назву, вид діяльності), при цьому співробітники, що залишилися, будуть носіями традицій старого підприємства;

– на території колишньої *країни* (у колишніх межах або нових) може виникнути нове державне утворення (з новим політичним устроєм, новим адміністративним поділом, новою назвою), яке формально чи неформально (через своїх громадян) залишиться правонаступником або носієм певних (етнічних) характеристик колишньої структури.

Зазначені два класи механізмів Н.М. Моїсеєв порівнює з двома різними режимами перетікання рідини в трубі: *ламінарним* і *турбулентним*.

*Ламінарний*, тобто плавний режим перетікання рідини, коли її частинки рухаються паралельно осі труби, спостерігається при незначних витратах рідини. В цьому випадку проглядається лінійна залежність напору (необхідного тиску в трубі) від об'єму рідини, який потрібно прокачати за одиницю часу. Однак зі збільшенням цього обсягу (витрати рідини) до критичного значення колишній режим руху рідини існувати не може. Стара організація системи руйнується. Замість ламінарного руху рідини виникає *турбулентний*, тобто вихровий. Він характеризується тим, що єдиний плавний потік розпадається на численні вихори різних розмірів, внаслідок чого їх гідродинамічні та термодинамічні характеристики (швидкість, температура, тиск, щільність) відчують хаотичні зміни. Це означає, що ці параметри змінюються у просторі (від точки до точки) і в часі нерегулярно. Лінійна залежність необхідного напору прокачування питомого об'єму рідини порушується, і значення напору починає швидко зростати (Моїсеєв, 1990).

Цей приклад ілюструє один дуже важливий факт: фізичні системи можуть мати порогові стани, перехід через які веде до різкої, якісної зміни процесів, що протікають – це означає трансформацію впорядкування їх організації. Схематично шляхи реалізації *адаптаційного* та *біфуркаційного* класів механізмів показані на рис. 6.1.

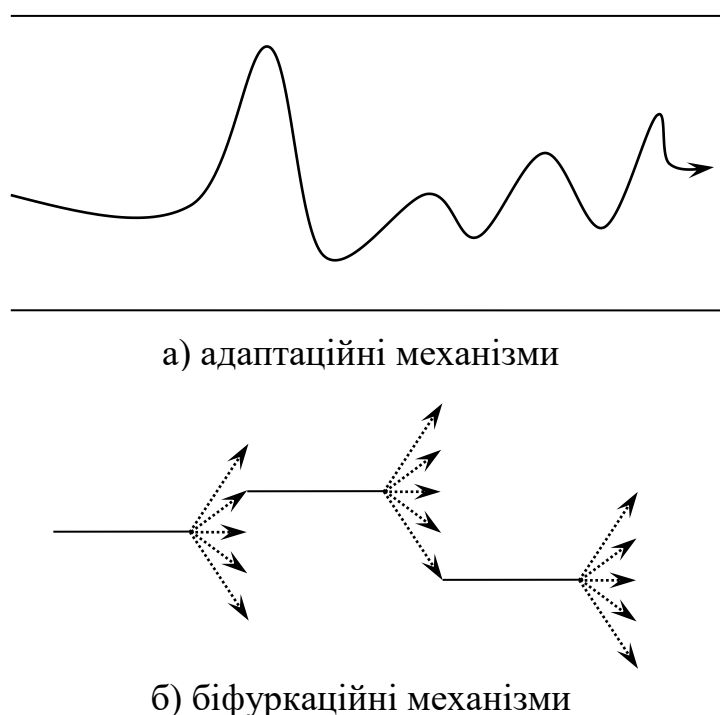


Рисунок 6.1 – Схеми реалізації адаптаційного (а) та біфуркаційного (б) класів трансформаційних механізмів

Наведені вище характеристики зазначених класів механізмів дозволяють дати порівняльний аналіз можливого впливу цих механізмів на інтенсивність

еволюційних процесів.

*Адаптаційні механізми* мають таку відмінну властивість, що ні зовнішні, ні внутрішні збурення за допомогою цих механізмів не здатні вивести систему за межі того “осяжного каналу еволюції”, того коридору, який приготувала природа для розвитку цієї системи<sup>7</sup>. Кордони цього коридору обумовлені фізичними можливостями системи пристосовуватися до змін довкілля. Отже, параметри потенційних змін стану системи не можуть істотно відрізнятись один від одного. Таким чином, можливі стани системи досить осяжні в перспективі, а шляхи її розвитку передбачувані з достатньою точністю.

## 2 Особливості біфуркаційних механізмів

Біфуркаційні зміни мають дуже важливу, з точки зору прискорення процесів розвитку, властивість: вони *стрибокподібно збільшують характеристики змінюваності системи*. Це пояснюється двома дуже важливими *передумовами*:

– по-перше, після біфуркації (тобто розгалуження) система розпадається на безліч можливих структур (станів), в рамках яких у подальшому вона і може розвиватися (звідси походить і назва даного класу механізмів);

– по-друге, різко збільшується *стохастичність*<sup>8</sup> та *невизначеність* кожного з цих станів; передбачити заздалегідь, яка з цих структур реалізується, не можна в принципі, бо це залежить від неминуче присутніх випадкових змін – *флуктуацій*<sup>9</sup> системи.

Біфуркаційні механізми в порівнянні з адаптаційними мають цілу низку *відмінних властивостей*, що дозволяють колосально прискорити процеси розвитку. До таких властивостей можна віднести:

– *колосальне збільшення варіантності станів* та розкиду можливих параметрів системи;

– *невизначеність майбутнього*, що пояснюється високим ступенем випадковості та ймовірності флуктуацій (спонтанних змін) системи;

– *незворотність розвитку*: через ймовірнісний і випадковий характер змін ймовірність повернення у зворотний стан практично дорівнює нулю (!); характер розвитку набуває *спрямованості й необоротності*.

У цьому світлі біфуркаційні механізми створюють майже ідеальні умови для розвитку.

Для розвитку потрібна пам’ять. Але потрібна для того, щоб закріпити зміни, що вже відбулися, і система знову не скочувалась у старе. Однак “дуже хороша пам’ять” перетворюється на гальмо розвитку, коли потрібно провести нові зміни, коли потрібно порушити стару рівновагу (“від добра добра не шукають!”). Отже, щоб зміна відбулася, система має ніби “забути” старий стан. З набуттям нового стану система повинна знову “вимкнути” пам’ять, щоб інфор-

<sup>7</sup> Маленький крокодил може вирости і стати великим крокодилом, але він ніколи не стане бегемотом.

<sup>8</sup> *Стохастичність* (від грец. Στόχος [стохос] – припущення, здогад) означає випадковість. Один з найпростіших безперервний у часі стохастичний процес – броунівський рух, який було вперше виявлено ботаніком Робертом Брауном, коли той дивився у мікроскоп на пилкові зерна у воді.

<sup>9</sup> *Флуктуація* – випадкове відхилення якоїсь величини (фізичної, біологічної, соціально-економічної і т.ін.) від її середнього значення.

маційно закріпити нову якість.

Біфуркаційні механізми сприяють максимальному прискоренню темпів розвитку. Стан “катастрофи”, в якому час від часу опиняється система, дозволяє їй “забувати” (або майже “забувати”) своє минуле. Після переходу через біфуркаційний стан відбувається розгалуження шляхів еволюції. Кожен з них (залежно від рівня ефективності) природа може вибрати як оптимальний напрям реалізації подальшого розвитку. При цьому нова якість чітко закріплюється незворотністю, захищаючи систему від повернення в старий стан.

Вперше в планетарному масштабі природа реалізувала біфуркаційні механізми, створивши *біологічний тип еволюції*. Відтворюючи своє потомство, кожен організм створює розгалужений шлях розвитку біологічного виду. Нове покоління несе спадкові ознаки свого виду (від зайця може народитися тільки заєць, а від крокодила – крокодил), але водночас воно створює ті необхідні передумови, без яких немислимий процес розвитку. Нащадок вносить значну різноманітність у стару систему, що забезпечується випадковими мутаціями системи. З нового потомства виживуть тільки ті особини, які краще за інших здатні пристосовуватися до навколишнього середовища. Саме ці, більш живучі, особини отримують можливість відтворити наступне потомство (тобто нову біфуркацію).

Розмірковуючи виключно теоретично, можна припустити: мабуть, природа і змогла б створити існуюче на планеті біологічне розмаїття, використовуючи адаптаційні механізми перших прокаріотів (у цьому випадку кожна структура, зайнявши свою біологічну нішу, змогла би, поступово пристосовуючись, шукати свою долю), але для цього знадобилися б, мабуть, сотні мільярдів років, а не кілька мільярдів, за які відбулася еволюція живої природи на Землі. Саме цей факт дії біфуркаційних механізмів удалося першим розглянути Дарвіну.

Таким чином, біфуркаційні механізми, діючи спільно з адаптаційними, дозволили різко інтенсифікувати *мутагенез* (тобто виникнення випадкових, невизначених змін) на планеті, внаслідок чого стали швидко змінюватися умови життя на Землі. Це, у свою чергу, стимулювало швидку змінність біологічних видів (вимирання старих та поява нових). У світлі викладеного стає зрозумілим колосальне значення смертності, яку набули живі організми (прокаріоти, як зазначав М.І. Мойсеєв (1990), були безсмертними). Це ціна, яку сплатила природа за різке прискорення темпів розвитку.

### 3 Основні характеристики трансформації

Можна виділити кілька ключових понять, що характеризують явища трансформації систем і глибше зрозуміти природу самих трансформаційних процесів.

*Стійкий стан системи* спостерігається в тому випадку, коли значення її параметрів *несуттєво* реагують (змінюються) у відповідь на зміну характеристик довкілля. Це відбувається в тому випадку, якщо системі за допомогою механізмів негативного зворотного зв'язку вдається утримувати постійний рівень гомеостазу.

Ті зміни, які відбуваються в системі при її стійкому стані, як правило, описуються *лінійними* залежностями параметрів системи між собою та факторами довкілля (суворо кажучи, зазначені залежності наближені до лінійних відносин). А сама динамічна система у такому стані називається *стійкою лінійною системою*.

Лінійні системи мають такі *відмінні властивості*:

- а) оборотність стану (найважливіших параметрів);
- б) безперервність (нерозривність) характеристик зміни найважливіших параметрів;
- в) відносна детермінованість (визначеність) змін у системі (вони мають передбачуваний характер, тобто підкоряються фіксованим закономірностям);
- г) динамічна рівноважність;
- д) відносна симетричність взаємодії внутрішніх та зовнішніх факторів (результат дії механізмів негативного зворотного зв'язку);
- е) незалежність значень ключових параметрів системи від часу та/або простору;
- ж) відповідність суперпозиційному принципу.

Останнє означає, що результуючий ефект складного процесу впливу є сумою ефектів, викликаних кожним впливом окремо за умови, що вони не чинять впливу один на одного. Спостерігається у разі, якщо значення параметрів системи істотно змінюються у відповідь на зміну характеристик зовнішнього середовища. Це відбувається в тому випадку, коли система за допомогою механізмів позитивного зворотного зв'язку трансформує рівень свого гомеостазу (адаптаційна трансформація) або змінює свій стан шляхом біфуркаційної трансформації (з утворенням двох або кількох нових станів системи).

Властивості лінійних систем *не залежать* від процесів, що в них відбуваються.

Зміни, що відбуваються в системі при її нестійкому стані, описуються *нелінійними* залежностями параметрів системи між собою та з факторами зовнішнього середовища. Динамічна система у такому стані називається *нестійкою нелінійною системою*.

Властивості нелінійних систем *залежать* від процесів, що в них відбуваються. Основні властивості нелінійних систем можна сформулювати в такий спосіб:

- а) незворотність стану (найважливіших параметрів);
  - Самуельсон якось помітив “Іспанія не могла залишатися колишньою після Колумба...” (Занг, 1999);
- б) перервність характеристик зміни найважливіших параметрів;
- в) невизначеність поведінки системи (розвиток того чи іншого сценарію часто може залежати від випадкової незначної події);
- г) динамічна нерівноважність;
- д) несиметричність взаємодії внутрішніх та зовнішніх факторів (результат механізмів позитивного зворотного зв'язку);
- е) змінність ключових параметрів системи в залежності від часу та/або простору;
- ж) невідповідність суперпозиційному принципу.

Узагальнена порівняльна характеристика стійкого і нестійкого стану показана в табл. 6.1.

До сказаного слід додати, що системи можуть бути *стійкими, нестійкими та асимптотично*<sup>10</sup> *стійкими* залежно від поведінки своїх параметрів.

<sup>10</sup> *Асимптотично* – повільно, нескінченно наближаючись до чогось.

Таблиця 6.1 – Порівняльні характеристики стійкого та нестійкого станів системи

Характеристика стану	
Стійкий	Нестійкий
Оборотність стану	Необоротність стану
Безперервність зміни найважливіших параметрів	Перервність зміни найважливіших параметрів
Визначеність змін стану	Невизначеність змін стану
Динамічна рівноважність	Динамічна нерівноважність
Відносна симетричність внутрішніх та зовнішніх факторів	Відносна несиметричність внутрішніх та зовнішніх факторів
Незалежність ключових параметрів від часу чи простору	Змінюваність ключових параметрів у залежності від часу або простору
Відповідність суперпозиційному принципу	Невідповідність суперпозиційному принципу

**Фазовий перехід** (фазове перетворення, фазова трансформація) у широкому значенні – перехід системи від стаціонарного стану з одним гомеостазом до стаціонарного стану з іншим гомеостазом (іншими гомеостазами – при біфуркаційних трансформаціях); у вузькому сенсі – *стрибокподібна зміна* властивостей системи при безперервній зміні зовнішніх факторів.

**Критичний стан** – граничний стан рівноваги системи, в якому суміжні фази стають тотожними за своїми властивостями. Після переходу системою критичного стану настає фазовий перехід.

**Критична точка** – значення параметра (або параметрів) системи, після досягнення якого настає критичний стан системи.

**Точка біфуркації** – це така критична точка, після якої починаються біфуркаційні трансформації системи. З математичної точки зору, точкою біфуркації можна вважати таку точку (значення параметра), якою проходять дві або більше гілок рішення рівняння, що описує можливі стани системи.

“Еволюцію біологічних видів ... нерідко представляють у вигляді еволюційного дерева ... Проходження через точки розгалуження – зроблений “вибір” – закриває інші альтернативні шляхи, роблячи еволюційний процес незворотним. Еволюційне дерево в біології, по суті, аналогічно діаграмі біфуркацій у синергетиці”.

Існують й інші аналоги біфуркацій, загальна модель яких представлена образом світового дерева. “...Цей образ присутній у міфології практично всіх народів Сходу та Заходу в найрізноманітніших варіантах: “дерево життя”, “дерево пізнання”, “дерево сходження”.

На кожному з них у точках біфуркацій закривається один напрямок розвитку і відкриваються нові перспективи (гілки) майбутнього продовження стану системи.

Ще одним прикладом подібних біфуркацій є “дерево пошуку”, що виводиться на дисплеї сучасних комп’ютерів і дозволяє швидко орієнтуватися в гіпертекстах електронних книг і складних системах посилань на сторінках Інтернету”.

**Траєкторія еволюції системи** – геометричне чи уявне зображення послідовної зміни з часом фактичних чи можливих (віртуальних) значень (положення у просторі) динамічних змінних (фазових координат).

**Фазовий портрет** – еволюція у часі послідовних станів системи як зображення траєкторії її динамічних змінних у фазовому просторі. У свою чергу



**фазовий простір** – це безліч можливих значень параметрів системи.

Кожна система має свій особливий фазовий портрет. До класичних зазвичай відносять траєкторії типу: *стійкий фокус* (спіраль, що сходиться до центру), *нестійкий фокус* (спіраль, що розходиться від центру), *стійкий вузол* (сімейство кривих, що сходяться в одній точці), *нестійкий вузол* (сімейство кривих, що перетинаються в одній точці, але розходяться), *сідло* (гіперболічна функція, графік якої нагадує четверне сідло).

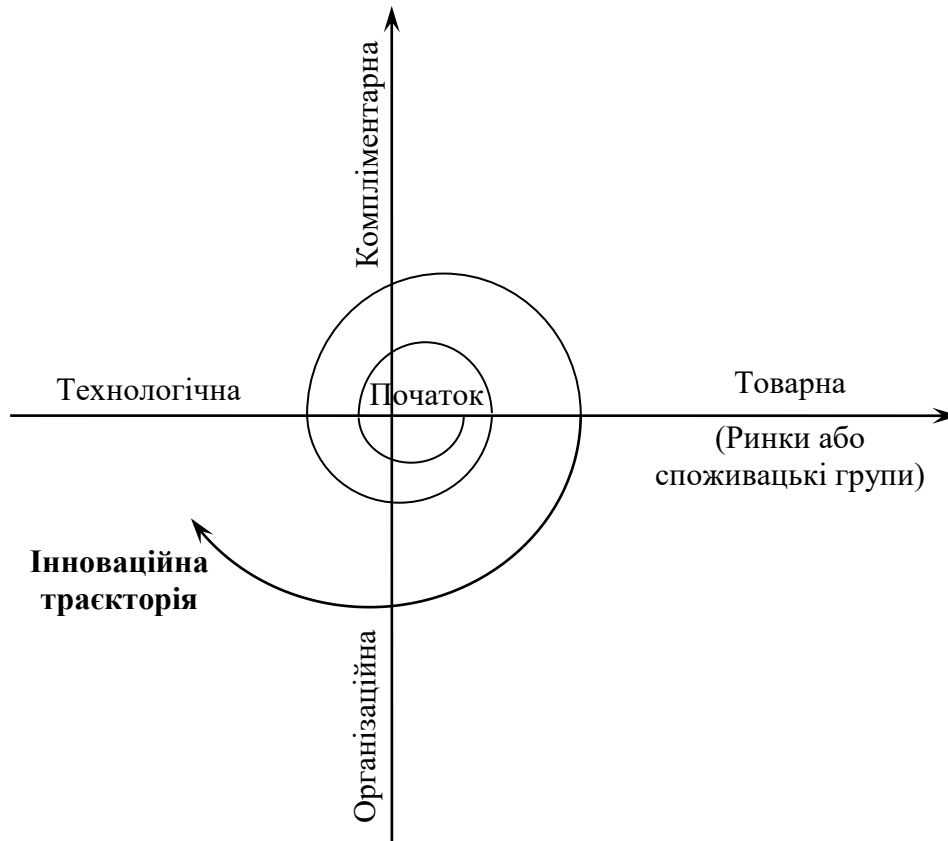


Рисунок 6.2 – Фазовий портрет фірми, яка використовує інновації як ключовий фактор розвитку

Імпульс, отриманий фірмою від впровадження інновації, дозволяє послідовно розвивати успіх: удосконалюючи базовий інноваційний продукт і проникаючи у нові сегменти ринку, отримуючи нові конкурентні переваги, реорганізуючи виробництво та збут продукції, трансформуючи технології, підтягуючи супутні товари та реквізити. Спіраль розкручується далі.

Користуючись логікою попереднього прикладу, можна представити фазовий портрет підприємства з кривими, що сходяться в одній точці. Подібна ситуація спостерігатиметься на підприємстві, яке нехтує впровадженням інновацій. Його розвиток в аналізованій період часу йтиме по загасаючій траєкторії.

Однак траєкторію, що сходиться, на деякому часовому відрізку може мати і цілком успішне підприємство або яке-небудь з його виробництв. Таке може спостерігатися у випадку, коли значний економічний успіх, отриманий за рахунок просування на ринок одного з товарів, дозволяє відмовитися від виробництва інших виробів, що раніше виготовлялися на підприємстві. Концентрація зусиль (і пов'язаних з ними витрат) на одному виробі дозволяє повною мірою реалізувати його переваги, досягнувши успіхів у конкурентній боротьбі на ринках. Саме такою стратегією багато років керувалася фірма "Нокія", вдосконалюючи моделі обмеженого спектру мобільних телефонів.

**Фрактал** – це система, що має масштабну інваріантність<sup>11</sup>, тобто розгалужену можливість продовження своїх станів (свого розвитку), і здатна таким чином реалізувати біфуркаційний тип трансформації.

“Фракталами називають такі об’єкти, які мають властивості самоподібності або, як ще кажуть, масштабну інваріантність. Це означає, що малий фрагмент структури такого об’єкта подібний до іншого більшого фрагмента або навіть структури в цілому. В якості одного з біологічних прикладів фрактального об’єкта часто наводять легені людини, в яких кожен бронх розгалужується на дрібніші бронхи, а ті в свою чергу, на ще дрібніші, причому кожне розгалуження ідентичне за конфігурацією, але відрізняється від інших розміром. Згідно припущення академіка М.А. Маркова, можливо, існує, елементарна частка, звана фвідмоном, яка включає мегасвіт”.

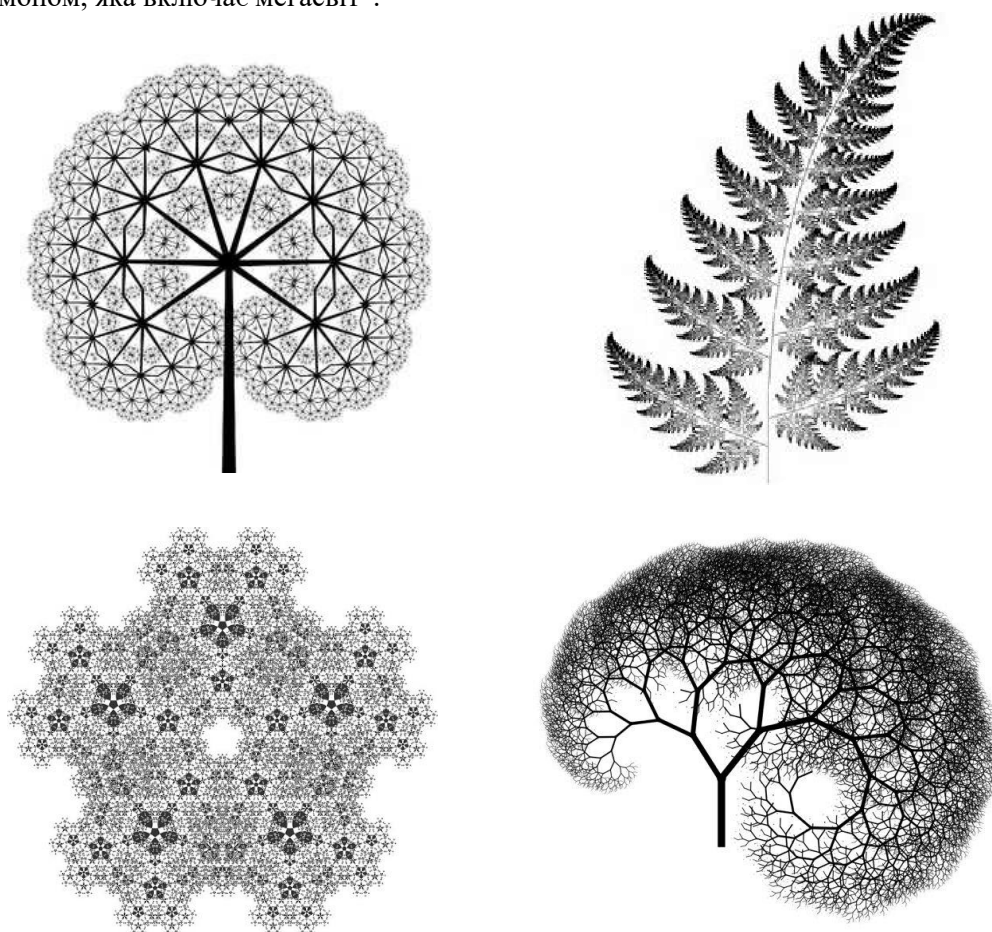


Рисунок 6.3 – Фрактали в природі

Своєрідна фрактальність присутня в економічних системах: на великих підприємствах спеціалізація цехів значною мірою схожа на спеціалізацію підприємств, а спеціалізація останніх “повторює” спеціалізацію секторів національної економіки.

**Системний атрактор** – стан системи, до якого вона закономірно еволюціонує, тобто своєрідна безліч значень параметрів, що “притягує” траєкторії системи.

Якщо система потрапляє в околицю деякого атрактора (це точка чи ціла область простору), її різні траєкторії (варіанти) поведінки “притягуються” саме до нього.

<sup>11</sup> *Інваріантність* – незмінність, постійність при яких-небудь перетвореннях, при переході до нових умов.

Можна виділити три варіанти системних атракторів:

1. **Точковий атрактор.** Приклад такої системи – маятник, що коливається, який сила тертя з часом зупиняє в одній точці. Система “притягується” (attract – англійське слово, що означає “притягувати”) до початкової точки рівноваги.

2. **Граничний цикл.** Припустимо, що тертя немає. Тоді маятник буде вічно коливатися і являти собою регулярну періодичну систему.

3. **Дивний атрактор.** Якщо ми випадково змінюємо енергію, що надається маятнику через рівні часові проміжки, то результуючий рух буде різним і неперіодичним. Однак він обмежений максимальною амплітудою маятника та законами фізики (сила тяжіння тощо). Результатом такого руху буде хаотичний чи дивний атрактор.

З фізичної точки зору, *атрактор відповідає найбільш ефективному стану системи*. Саме в даному стані природна система має здатність мінімального виробництва ентропії, зокрема, мінімальної дисипації (розсіювання) енергії. Так, траєкторії водних потоків (вихорів) притягуються до стану, що відповідає мінімальним енергетичним витратам на проходження води.

В *економічних системах* подібним же чином покупців (а з ними й успіх) тягне до виробників, що забезпечують мінімальні витрати (а, отже, і ціну) на одиницю продукції або найкраще співвідношення ціни і якості.

В *екологічних системах* атрактори виконують функцію мети еволюції, виступаючи як наявність “кінцевого стану”. Це траєкторія, до якої прагнутиме система, поступово вичерпуючи резерви своєї ефективності.

В економічних системах можна побудувати своєрідний атрактор зміни кожного параметра. Наприклад, траєкторія зміни собівартості виготовлення виробу на підприємстві буде поступово наближатися до її мінімально можливої межі. Аналогічно будуть поводитися атрактори зміни кожного з компонентів собівартості (витрати матеріалів, енергії праці). Природно, це спостерігатиметься лише за фіксованих умов виробництва (зокрема, ціни на вихідні виробничі фактори). При зміні зазначених умов змінюватиметься і напрямок атрактора.

## Тема 7. Відображення систем наукою. Моделювання систем

1. Наукове пізнання і моделювання. Модель як метод описування системи.
2. Класифікація моделей. Моделі складу та структури системи.
3. Методи моделювання систем.
4. Особливості моделювання соціально-економічних систем

### 1 Наукове пізнання і моделювання. Модель як метод описування системи

При вивченні систем різної природи дослідник стикається з проблемою їх відображення, а також використання пізнавальної та практичної діяльності. Об'єкт фіксується *термінами мови*, відображається на папері *кресленнями, графіками, фотографіями, рівняннями та формулами*, а також *макетами, механізмами, пристроями*. Потім ці відображення використовуються для наукового дослідження (наприклад, спостереження, експерименту) або для практичної діяльності. Відображення об'єктів називаються *моделями*, процес їх створення – *моделюванням*, а використання, відповідно, в науці називають *моделним дослідженням* (моделним експериментом, моделним спостереженням) та *моделною практикою* – в практичній діяльності.

У найширшому сенсі під словом “*модель*” (від лат. *modulus* – міра, мірило, зразок, норма) розуміють деякий *образ об'єкта* (зокрема, умовний чи уявний), що нас цікавить, або, навпаки – *прообраз* деякого об'єкта чи системи об'єктів.

Наприклад, глобус – модель Земної кулі, фотографія – модель зображеного на ній об'єкта; карта – модель місцевості і т.ін. Що ж до розуміння моделі як прообразу, то можна згадати, наприклад, модель автомобіля, експоновану на виставці, за якою надалі почнеться масове виготовлення таких автомобілів.

**Моделювання** як метод наукового пізнання виникло в зв'язку з необхідністю вирішення завдань, які з тих чи інших причин не можуть бути вирішені безпосередньо. Вони виникають у випадках, коли об'єкт або недосяжний для дослідника, або ще не існує і потрібно обрати оптимальний варіант його створення, або дослідження реального об'єкта вимагає багато часу, економічно не вигідне тощо.

При моделюванні використовується принцип аналогії. **Аналогією** називають судження про будь-яку подібність у деякому сенсі двох об'єктів. Визначення ступеня істотності подібності чи відмінності об'єктів є умовним і відносним. Істотність подібності (відмінності) залежить від погляду спостерігача і визначається конкретною задачею. Сучасна наукова гіпотеза<sup>12</sup> створюється, як правило, на підставі аналогії з виконаними на практиці науковими дослідженнями. Отже, аналогія пов'язує гіпотезу з **експериментом**.

Гіпотези й аналогії, що відбивають світ, який реально, об'єктивно існує, мають бути наочними і зводитися до зручних для дослідження логічних схем. Такі логічні схеми, що спрощують міркування та логічні побудови або дають змогу проводити експерименти для

<sup>12</sup> **Гіпотеза** – це припущення чи здогад, твердження, яке вимагає доказів та підлягає експериментальній перевірці

уточнення природи явища, і є *моделями*. Іншими словами, *модель* – це деякий об'єкт-замінник об'єкта-оригіналу, що забезпечує вивчення деяких істотних, з погляду дослідника, властивостей оригіналу.

Таким чином, *модель виконує функцію проміжної ланки між дослідником та об'єктом пізнання*. Метод моделювання передбачає, що об'єкт вивчається не безпосередньо, а шляхом дослідження іншого об'єкта, який в певному відношенні є аналогом першого (рис. 7.1).



- 1 – первинна інформація (інформаційні потоки) про об'єкт дослідження;  
 2 – інформаційні потоки, що виникають в процесі пізнання моделі;  
 3 – інформаційна взаємодія між моделлю та об'єктом дослідження

Рисунок 7.1 – Схема взаємозв'язків між дослідником та об'єктом дослідження при використанні методу моделювання

Характерною ознакою моделей можна вважати їх *спроценість* стосовно оригіналу або реальної життєвої ситуації, яку моделюють. Спроценість моделей є неминучою, тому що оригінал лише в обмеженій кількості відношень відображується в моделі. Надмірно спрощена модель, проте, може призвести до невідповідності з досліджуваним об'єктом, що унеможливує його вивчення. З іншого боку, врахування в моделі якомога більшої кількості властивостей, ознак, сторін об'єкта призводить до ускладнення процесу дослідження.

Отже, *моделювання* з точки зору наукового дослідження – це метод опосередкованого пізнання за допомогою штучних або природних систем, які зберігають певні особливості об'єкта і таким чином, заміщуючи його, дають змогу отримати нове знання про оригінал. Іншими словами, моделювання – це процес дослідження реальних систем, що охоплює побудову моделі, дослідження її властивостей і перенесення одержаних відомостей на реальну систему.

*Основна функція моделі* – це її використання як *засобу пізнання*. До конкретизованих (похідних від основної) функцій належать:

- засіб наукового осмислення дійсності;
- засіб спілкування;
- засіб навчання і тренування;
- інструмент прогнозування;
- засіб постановки та проведення експерименту.

Модель як *засіб осмислення дійсності* дає можливість упорядкувати та формалізувати початкові уявлення про об'єкт дослідження. У процесі побудови моделі виявляються суттєві взаємозв'язки та залежності, послідовність дій (алгоритм) і необхідні ресурси.

Як *засіб спілкування* модель дає змогу точніше сформулювати основні поняття і стисло описати систему, дозволяє пояснити причинно-наслідкові зв'язки та загальну структуру системи, що досліджується та моделюється.

Використання моделей для *навчання і тренування* сприяє підвищенню ефективності і скороченню тривалості навчання. Імітація різноманітних практичних ситуацій на моделі, особливо проблемних і критичних, інформація про дії попередників підвищує якість освіти. Одним із прикладів застосування моделей є ділові ігри, які використовуються адміністративним персоналом, менеджерами тощо.

Для *прогнозування* використовуються так звані прогностичні моделі, що дають змогу передбачити поведінку системи в майбутньому на основі інформації про її ретроспективу.

Як *засіб проведення наукового експерименту* модель застосовується в тих випадках, коли проведення реального експерименту неможливе або недоцільне. При використанні моделі в сфері управління системою передбачається, зокрема, *імітаційне моделювання* для прийняття управлінських рішень, у плануванні, при підготовці персоналу тощо.

Для створення моделі доцільно, передусім, вербально охарактеризувати систему, тобто описати:

- зовнішнє середовище;
- зв'язки системи із зовнішнім середовищем;
- елементний склад системи, її частин, які можуть розглядатись як підсистеми;
- зв'язки між елементами системи (або найважливіші зв'язки, якщо неможливо описати всі);
- дію або функціонування системи.

Такий опис можна вважати початковою моделлю системи, яка є базовою для створення спеціалізованих моделей: графічних, математичних, статистичних тощо.

***Процес побудови моделі*** складається з таких *основних етапів*:

- постановка завдання моделювання;
- вибір виду моделі;
- перевірка моделі на достовірність;
- застосування моделі;
- оновлення моделі.

Основна проблема при моделюванні систем полягає в тому, що доводиться шукати компроміс між простотою описування та необхідністю врахування численних факторів і характеристик складної системи. Як правило, цю проблему вирішують через *ієрархічне представлення системи*, тобто система описується не однією моделлю, а кількома чи сімейством моделей, кожна з яких описує поведінку системи з погляду різних рівнів абстрагування. Для кожного рівня ієрархії існують характерні особливості і змінні, закони та принципи, за допомогою яких описується поведінка системи. Для того, щоб таке ієрархічне представлення було ефективним, необхідна якомога більша кількість незалежних моделей для різних рівнів системи, хоча кожна модель має певні зв'язки з іншими.

Головними рівнями дослідження та моделювання систем є мікро- та макрорівень.

***Мікрорівневе моделювання*** системи пов'язане з детальним описом кож-

ного компонента системи, дослідженням її структури, функцій, взаємозв'язків тощо. Практична реалізація найважливішого етапу мікромоделювання – виявлення елементів системи та взаємозв'язків між ними – пов'язана з необхідністю подолання суперечності між бажанням повного дослідження кожної з підсистем і елементів системи та реальною можливістю дослідити при цьому структуру системи загалом і принципи її функціонування.

**Макрорівневе моделювання** полягає в ігноруванні детальної структури системи та вивченні лише загальної поведінки системи як єдиного цілого. Метою тут є побудова моделі системи через дослідження її *взаємодії із зовнішнім середовищем*.

Найпростішою моделлю системи є так звана **модель “чорної скрині”** (вона вже згадувалася в темі 1 – див. рис. 1.1), в якій акцент робиться на функціях і поведінці системи, а про її будову є лише опосередкована інформація, що відображується у зв'язках із зовнішнім середовищем (макроекономічна модель). Зв'язки із середовищем, які йдуть у систему (входи), дають можливість впливати на неї, використовувати її як засіб, а зв'язки, що йдуть із системи (виходи), є результатами її функціонування, які або впливають на зміни в середовищі, або споживаються зовні системи. Іншими словами, як “чорна скриня” розглядається об'єкт дослідження, внутрішня структура якого невідома або не береться до уваги. Іноді достатньо змістовного опису входів і виходів системи. З такими моделями людина дуже часто має справу у повсякденному житті: наприклад, для роботи за комп'ютером не обов'язково досконало знати його внутрішню будову.

Метод описування систем за допомогою “чорної скрині” полягає у знаходженні та моделюванні взаємозв'язків між входами та виходами системи. Спостерігаючи достатньо довго за входами та виходами такої системи, тобто маючи вектори спостережень  $\vec{X} = (X_1, X_2, \dots, X_m)$  і  $\vec{Y} = (Y_1, Y_2, \dots, Y_n)$ , можна досягти такого рівня знань про її властивості, який уможливить передбачення змін у вихідних компонентах при будь-якій зміні вхідних, тобто можна знайти відображення  $f(X) \rightarrow Y$ . Для досягнення цієї мети будують спеціальні математичні моделі, що базуються на принципі “чорної скрині”. Найчастіше для цього застосовують методи регресійного аналізу, математичної статистики і планування експерименту.

## 2 Класифікація моделей. Моделі складу та структури системи

Класифікація моделей здійснюється за різними ознаками.

За **ступенем визначеності** моделі ділять на:

- **детерміновані**<sup>13</sup>, для яких характерним є те, що за певних значень вхідних параметрів на виході можна отримати лише один результат;
- **стохастичні**<sup>14</sup>, в яких змінні, параметри та умови функціонування, стан системи є випадковими величинами та пов'язані стохастичними залежностями;
- **невизначені**, в яких розподіл ймовірностей певних параметрів може або взагалі не існувати, або ж бути невідомим.

За **закономірностями зміни своїх параметрів** моделі поділяються на дискретні<sup>15</sup>, неперервні та дискретно-неперервні. Для **дискретної** моделі харак-

<sup>13</sup> **Детермінований** – викликаний, обумовлений; жорстко визначений.

<sup>14</sup> **Стохастичний** – випадковий, імовірнісний.

<sup>15</sup> **Дискретний** – складений з окремих частин; переривчастий.

терно, що множини припустимих значень вхідних і вихідних параметрів є дискретними, а у *неперервних* моделях всі змінні та параметри – неперервними.

За **фактором часу** розрізняють статичні та динамічні моделі. В *статичній* моделі всі параметри і залежності віднесено до одного моменту часу, тобто в явному вигляді відсутня залежність від часу. В *динамічній* моделі значення параметрів явно залежать від часу. Часто динамічна модель отримується як певна послідовність статичних моделей із рекурентним<sup>16</sup> типом зв'язків між ними.

Залежно від **засобів описування та оцінки** вирізняють дескриптивні та нормативні моделі. У *дескриптивних*<sup>17</sup> моделях не використовуються визначені критерії ефективності функціонування системи, тому за їх допомогою лише описується, аналізується її поведінка. *Нормативні*<sup>18</sup> моделі охоплюють такі критерії, тому вони характеризують норму функціонування системи і використовуються в процесі прийняття управлінських рішень, при проектуванні систем.

За **природою моделі** можна виокремити два основних класи: предметні та знакові. *Предметні* моделі поділяються на *природні* та *штучні*, а *знакові* – на *мовні (вербальні)* та *математичні (аналітичні та імітаційні)*.

Безперечно, що за допомогою лише моделі типу “чорна скриня” неможливо вивчити внутрішню структуру системи. Для детальнішого опису систем використовують моделі складу та моделі структури. **Модель складу системи** відображає, з яких елементів і підсистем складається система, а **модель структури** застосовується для відображення відношень між елементами та зв'язків між ними.

На перший погляд здається, що описати склад системи – це просте завдання. Однак якщо різним експертам дати завдання побудувати модель складу однієї системи, то їхні результати можуть суттєво відрізнятись. Так, наприклад, Національний університет “Чернігівська політехніка” з погляду ректора, головного бухгалтера та начальника служби охорони буде складатися з різних підсистем.

Головна проблема при побудові моделі складу полягає в тому, що поділ цілої системи на частини відносний, залежить від мети дослідження (це стосується також визначення меж системи). Крім цього, відносним є поняття елемента: те, що з одного погляду є елементом, з іншого – може бути підсистемою.

При використанні графічних моделей будову систем подають у вигляді так званих структурних схем. Структурні схеми наглядні та містять інформацію про велику кількість властивостей системи.

### 3 Методи моделювання систем

У процесі дослідження реальних систем і побудови їх моделей використовуються різні **методи моделювання**, що залежать від характеристик об'єкта, рівня знань про нього, мети дослідження та вимог до моделі (рис. 7.2).

За **мірою повноти опису** моделювання поділяють на повне, неповне та наближене.

<sup>16</sup> *Рекурентний* (лат.: той, що повертається) – той, що дає змогу відшукувати значення якоїсь величини за знайденими раніше іншими значеннями тієї самої величини. В якості прикладу можна навести послідовність Фібоначчі.

<sup>17</sup> *Дескриптивний* – який описує щось, вдається до опису; описовий.

<sup>18</sup> *Нормативний* – 1) той, що встановлює норму, стандарти, визначає правила; 2) який відповідає нормативу, встановлений нормативом.



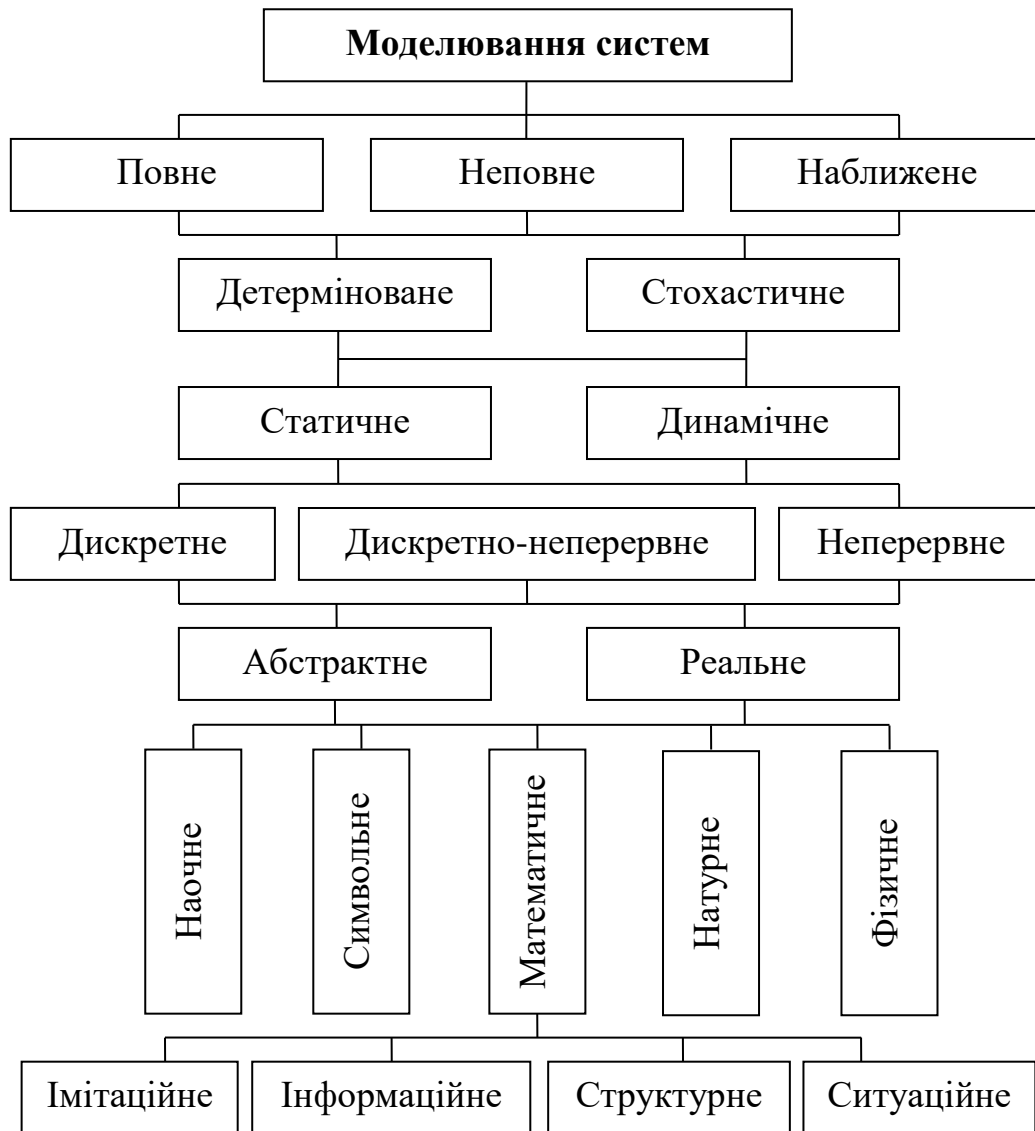


Рисунок 7.2 – Класифікація методів моделювання систем

**Повне моделювання** передбачає побудову моделі, адекватної об'єкту дослідження у просторі та часі. Для **неповного моделювання** ця адекватність не зберігається. При **наближеному моделюванні** беруться до уваги лише найважливіші аспекти системи.

Залежно від *характеру досліджуваних процесів* у системі моделювання поділяють на детерміноване і стохастичне, статичне і динамічне, неперервне та дискретно-неперервне. **Детерміноване** моделювання відображає процеси, для яких передбачається відсутність випадкових впливів, а **стохастичне** враховує випадкові процеси та події, **статичне** застосовується для опису стану системи у фіксований момент, а **динамічне** – для дослідження поведінки системи у часі. **Дискретне, неперервне та дискретно-неперервне моделювання** застосовують для опису процесів, які змінюються в часі.

Залежно від *форми подання об'єкта* моделювання поділяють на реальне та абстрактне. При **реальному моделюванні** використовують можливість дослідження характеристик на реальному об'єкті чи на його частині, а при **натур-**

**ному** проводять дослідження на реальному об'єкті з подальшим обробленням результатів експерименту на основі теорії подібності.

**Фізичне моделювання** здійснюється через відтворення досліджуваного процесу на моделі, яка в загальному вигляді має відмінну від оригіналу природу, але однаковий математичний опис процесу функціонування.

**Абстрактне моделювання** має різні види: наочне, символічне, математичне. При **наочному** на базі уявлень людини про реальні об'єкти створюють наочні моделі, що відображають явища та процеси, які відбуваються в об'єкті. **Символьне моделювання** – штучний процес створення об'єкта, що замінює реальний і виражає основні його властивості через певну систему знаків і символів. Воно поділяється, відповідно, на **мовне** та **знакове**. В основі мовного моделювання лежить деякий тезаурус, що утворюється з набору вхідних понять, причому цей набір має бути фіксованим.

Під **тезаурусом** розуміють словник, одиниці якого містять набори ознак, що характеризують родово-видові зв'язки та згруповані за змістовною близькістю. Між тезаурусом і звичайним словником існують принципові розбіжності. Тезаурус – це словник, який не містить неоднозначних слів; кожному його слову відповідає лише одне поняття.

Дослідження **математичної моделі** дає змогу отримати характеристики реального об'єкта чи системи. Вигляд математичної моделі залежить як від природи системи, так і від завдань дослідження. Математична модель системи містить, як правило, опис множини можливих станів системи та закон переходу з одного стану в інший. Математичне моделювання охоплює імітаційне, інформаційне, структурне, ситуаційне тощо.

При **імітаційному** моделюванні намагаються відтворити процес функціонування системи у часі за допомогою деяких алгоритмів. При цьому імітуються основні явища, що утворюють процес, який розглядається, із збереженням їх логічної структури та послідовності перебігу в часі. Це уможливує отримання інформації про стан процесу в певний момент та оцінку характеристик системи. Імітаційні моделі дають змогу враховувати такі ознаки, як дискретність і неперервність елементів системи, нелінійність їхніх характеристик, випадкові збурення тощо.

**Інформаційне (кібернетичне)** моделювання пов'язане з побудовою моделей, для яких відсутні безпосередні аналоги фізичних процесів. У такому разі намагаються відобразити лише деяку функцію і розглядають об'єкт як “чорну скриню”, що має певну кількість входів і виходів. Таким способом моделюють лише окремі зв'язки між входами та виходами. Отже, в основі кібернетичних моделей лежить відображення окремих інформаційних процесів регулювання та управління, що дає змогу оцінити поведінку реальної системи. Для побудови моделі необхідно виокремити досліджувану функцію реального об'єкта та спробувати формалізувати її через окремі оператори зв'язку між входом і виходом. Імітаційна модель уможливує відтворення цієї функції.

**Структурне моделювання** базується на специфічних особливостях структур певного вигляду, котрі використовують як засіб дослідження систем або для розроблення на їх основі моделей із застосуванням інших методів формалізованого опису систем (теоретико-множинних, лінгвістичних) і специфічних

підходів до моделювання.

Структурне моделювання охоплює:

- методи сітьового моделювання;
- структурний підхід до формалізації структур різних типів (ієрархічних, матричних та ін.) на основі теоретико-множинного їх подання та поняття номінальної шкали теорії вимірювання;
- поєднання методів структуризації з лінгвістичними.

**Ситуаційне моделювання** базується на модельній теорії мислення, в рамках якої можна описати основні механізми регулювання процесів прийняття рішень. В основі модельної теорії мислення є формування у свідомості та підсвідомості людини інформаційної моделі об'єкта чи зовнішнього світу.

Цілеспрямована поведінка людини ґрунтується на формуванні цільової ситуації та уявному перетворенні фактичної ситуації на цільову. Основа побудови ситуаційної моделі – описання об'єкта у вигляді сукупності елементів, що пов'язані між собою певними відношеннями, які відбивають семантику предметної галузі. Модель об'єкта має багаторівневу структуру і є інформаційним контекстом, на тлі якого здійснюються процеси управління.

При дослідженні економічних, соціальних, екологічних систем найчастіше застосовують методи математичного, структурного, ситуаційного, інформаційного та імітаційного моделювання.

#### **4 Особливості моделювання соціально-економічних систем**

Складність проблем соціально-економічного моделювання визначається тим, що об'єктами моделювання є не тільки економічні, але й соціальні процеси. Особливості функціонування соціально-економічних систем, котрі є багатовимірними і нестационарними об'єктами, обумовлюють обмежені можливості їх адекватного опису за допомогою *лінійних оптимізаційних моделей*. Побудова *динамічних нелінійних оптимізаційних моделей* значною мірою ускладнена внаслідок слабкої інформаційної забезпеченості і неможливості відповідної інтерпретації двоїстих оцінок.

Інший напрямок соціально-економічного моделювання – це побудова *імітаційних моделей* розглянутих систем, що широко застосовуються в першу чергу до динамічних процесів для одержання інформації, вивчення причинно-наслідкових залежностей і механізмів зворотних зв'язків у тих сферах, де неможливе проведення експериментів на реальному об'єкті. До таких об'єктів належить і соціально-економічна система. Основна риса імітаційних моделей – їх високий ступінь відповідності реальному процесу. Тому структура конкретної імітаційної моделі визначається структурою досліджуваного об'єкта або процесу (процесу функціонування галузі, соціально-економічної системи, підприємства, регіону тощо).

Вироблення рішень щодо об'єкта для процесу, який імітує модель, може здійснюватися в двох варіантах: на основі експертних оцінок та в автоматичному режимі (методом ітерацій на основі наявної апріорної інформації про систему), що не дозволяє оптимізувати одержувані стратегії. Вирішення цієї проблеми лежить у площині *комбінування оптимізаційних та імітаційних моделей*.

Суть *комбінування* полягає в тому, що одночасно з імітаційною моделлю досліджуваного процесу будується оптимізаційна модель (більш груба у відношенні до оцінки на допустимість з економічної точки зору), котра використовується для формування “попереднього” оптимізаційного плану. Уточнення допустимості цього плану здійснюється за допомогою його “реалізації” у рамках більш близької до реального процесу імітаційної моделі.

На різних етапах соціально-економічного обґрунтування розвитку виробничих об’єктів може використовуватися такий різновид імітаційних моделей, як *статистичні моделі*. Їх доцільно застосовувати, насамперед, як інструмент обліку фактору невизначеності при прогнозуванні внутрішніх і зовнішніх параметрів функціонування соціально-економічних систем.

Для розв’язання певного кола задач можливе використання *сітьових моделей*. Цей напрямок соціально-економічного моделювання не набув на сьогодні достатнього розвитку.

Доцільність застосування того чи іншого класу економіко-математичних моделей у ході аналізу розвитку соціально-економічних систем залежить від мети дослідження. Оптимізаційні моделі дозволяють зробити якісні висновки про предмет аналізу – оцінити загальні закономірності зміни показників, установити їх оптимальне співвідношення, побудувати і досліджувати структуру економічних оцінок. Оптимізаційні моделі є зручним інструментом теоретичного аналізу, а імітаційне моделювання варто застосовувати в прикладних розробках для аналізу поведінки конкретної соціально-економічної системи й експериментальної апробації стратегій, здійснюваних при більш високому рівні управління.

Моделювання економічних систем різного рівня з урахуванням соціальних факторів висуває певні вимоги до внутрішніх і зовнішніх зв’язків розроблювальних моделей. Взаємодія будь-якої системи з навколишнім середовищем, як правило, є двосторонньою. З одного боку, економічна система функціонує під впливом соціуму, з іншого – вона впливає на стан цього соціуму.

Підходи до визначення взаємозв’язків системи, яка моделюється, залежать від економічної постановки задачі, обумовленої цілями дослідження. Відображення соціально-економічних факторів у математичних моделях потребує серйозного наукового підходу до вивчення взаємозв’язків об’єкта, який моделюється. Це особливо ускладнюється при постановці задач, що охоплюють широкий спектр впливу економічних об’єктів на соціум, а також задач побудови відповідної системи відносин між ними. Особливі вимоги у цьому випадку висуваються до постановки задач довгострокового планування і прогнозування. Як відомо, наслідки багатьох господарських заходів в основному мають довгостроковий характер, що ускладнює облік зовнішніх взаємозв’язків у процесі соціально-економічного моделювання.

## Тема 8. Системний підхід і системний аналіз

1. Поняття системного підходу, його основні риси і принципи.
2. Сутність та етапи системного аналізу.
3. Методи системного аналізу.

### 1 Поняття системного підходу, його основні риси і принципи

У наш час відбувається небачений прогрес знань, який призвів до відкриття і накопичення множини нових фактів, відомостей з різних областей життя і, тим самим, поставив людство перед необхідністю їхньої систематизації, відшукування загального в конкретному, постійного в змінюваному. Одним з основних для пізнання світу в таких умовах стає системний підхід. Визначимо його *основні риси*:

- *системний підхід* – форма методологічного пізнання, пов'язана з дослідженням і створенням об'єктів як систем, і відноситься тільки до систем;

- *ієрархічність пізнання*, що вимагає багаторівневого вивчення об'єкта: вивчення самого об'єкта – “власний” рівень; вивчення цього ж об'єкта як елемента більш широкої системи – “вищий” рівень; вивчення цього об'єкта в співвідношенні з елементами, що його складають, – “нижчий” рівень;

- системний підхід вимагає розглядати проблему не ізольовано, а *в єдності зв'язків із зовнішнім середовищем*, осягати сутність кожного зв'язку та окремого елемента, проводити асоціації між загальними та конкретними цілями.

З урахуванням сказаного визначимо поняття системного підходу.

**Системний підхід** – це підхід до дослідження об'єкта (проблеми, явища, процесу) як до системи, в якій виділені елементи, внутрішні та зовнішні зв'язки, що найбільш істотним чином впливають на досліджувані результати його функціонування, та цілі кожного з елементів, виходячи із загального призначення об'єкту.

*Основними принципами* системного підходу є:

1. *Цілісність*, що дозволяє розглядати одночасно систему як єдине ціле і в той же час як підсистему для вищих рівнів.

2. *Ієрархічність будови*, тобто наявність безлічі (принаймні, двох) елементів, розташованих на основі підпорядкування елементів нижчого рівня елементам вищого рівня.

Реалізацію цього принципу добре видно на прикладі будь-якої конкретної організації. Як відомо, організація являє собою взаємодію двох підсистем: керуючої і керованої. Одна підпорядковується іншій.

3. *Структуризація*, що дозволяє аналізувати елементи системи та їх взаємозв'язки в рамках конкретної організаційної структури. Як правило, процес функціонування системи обумовлений не стільки властивостями її окремих елементів, скільки властивостями самої структури.

4. *Множинність*, що дозволяє використовувати безліч кібернетичних, економічних та математичних моделей для опису окремих елементів і системи в цілому.

На підставі викладеного вище можна зробити певні висновки щодо відмінностей системного і традиційного (аналітичного) підходів.

Традиційний і системний підходи використовують і аналіз (розчленування цілого на частини), і синтез (об'єднання частин у ціле). Різниця полягає в поєднанні, послідовності цих методів.

*Традиційне мислення* містить наступну послідовність етапів:

- 1) розчленування (аналіз) того, що треба буде пояснити;
- 2) пояснення поведінки або властивостей частин, взятих окремо;
- 3) об'єднання (синтез) цих пояснень в пояснення цілого.

У *системному підході* також можна виділити три ступені:

- 1) визначення цілого (системи), частиною якого є об'єкт, що нас цікавить;
- 2) пояснення поведінки або властивостей цього цілого (системи);
- 3) пояснення поведінки або властивостей даного об'єкту, що нас цікавить, з точки зору його функцій у тому цілому, частиною якого він є.

Тобто *при системному підході синтез передує аналізу*, а при традиційному – навпаки. При аналітичному підході об'єкт, що нас цікавить, розглядається як ціле, яке доведеться розкласти на частини, при системному підході досліджуваний об'єкт розглядається як частина деякого цілого.

#### **Приклад**

Показати цю відмінність можна на прикладі університету. При аналітичному підході до пояснення, що таке заклад вищої освіти (ЗВО), його починають ділити на складові: факультети, спеціальності, кафедри, групи, підгрупи, студентів. Потім дається визначення факультету, кафедри і т.д. Після цього проводиться об'єднання цих визначень, яке закінчується визначенням, що таке ЗВО. При системному підході до цієї ж задачі треба починати з виділення системи, що містить ЗВО – системи освіти. Потім визначити цілі та функції цієї системи освіти, яка входить в систему національної економіки. І тільки після цього можна дати визначення ЗВО з позиції системи освіти і національної економіки.

Існують також серйозні відмінності між тим, що називають *аналітичним і системним управлінням*. Останнє саме і базується на принципі системності: якщо кожную частину системи змусити функціонувати з максимальною ефективністю, система як ціле ще не буде в результаті цього функціонувати з максимальною ефективністю (ціле не дорівнює сумі його складових).

#### **Приклад**

Якщо з усіх кращих моделей автомобілів вибрати найкращі вузли і зібрати з них автомобіль, то ми не отримаємо кращий у світі автомобіль. Якщо новий начальник цеху різко збільшить ефективність його роботи, то це може призвести до збоїв на заводі в цілому.

Таким чином, традиційний підхід до пізнання і дослідження реальних систем виходить з передумови, що найкращого функціонування, наприклад, підприємства можна досягти простим підсумовуванням його частин у режимах найкращого їх функціонування. Принцип системності стверджує, що для складних систем ця умова не виконується.

## 2 Сутність та етапи системного аналізу

Системний аналіз виник у США і насамперед у надрах ВПК. Крім того, в США системний аналіз вивчався в багатьох державних організаціях. Він вважався найбільш цінним побічним досягненням у галузі оборони та вивчення космічного простору. В обох палатах конгресу США в 60-ті роки минулого століття були внесені законопроекти “про мобілізацію та використання науково-технічних сил країни для застосування системного аналізу і системотехніки з метою найбільш повного використання людських ресурсів для вирішення національних проблем”.

Системний аналіз використовувався також керівниками та інженерами у великих підприємствах промисловості і в комерційній області. Мета застосування методів системного аналізу – пошук шляхів отримання високого прибутку.

Якщо порівняти поняття “системний аналіз” і “системний підхід”, можна зазначити, що вони є досить близькими, хоча між ними існують певні відмінності. В основі як системного аналізу, що реалізує на практиці ідеї системного підходу, так і самого системного підходу лежить *діалектична логіка*. Системний підхід не дає готового набору рецептів вирішення проблем, скоріше він кристалізує вміння правильно застосовувати спеціальні методи аналізу.

Існують різні точки зору на зміст поняття “системний аналіз” і область його застосування. Вивчення різних визначень системного аналізу дозволяє виділити *чотири його трактування*.

*Перше* розглядає **системний аналіз** як один з конкретних методів вибору кращого вирішення проблеми, ототожнюючи його, наприклад, з аналізом за критерієм “вартість – ефективність”. Таке трактування характеризує спроби узагальнити найбільш розумні прийоми будь-якого аналізу (наприклад, військового чи економічного) визначити загальні закономірності його проведення.

У першому трактуванні системний аналіз – це, швидше, “аналіз систем”, оскільки акцент робиться на об’єкт вивчення (систему), а не на системність розгляду (облік всіх найважливіших факторів і взаємозв’язків, що впливають на вирішення проблеми, використання певної логіки пошуку кращого рішення і т.д.).

У ряді робіт, які висвітлюють ті чи інші проблеми системного аналізу, слово “аналіз” вживається з такими прикметниками, як кількісний, економічний, ресурсний, а термін “системний аналіз” застосовується значно рідше.

Згідно з *другим* трактуванням **системний аналіз** – це конкретний метод пізнання (протилежність синтезу).

*Третє* трактування розглядає **системний аналіз** як будь-який аналіз будь-яких систем (іноді додається, що аналіз на основі системної методології) без будь-яких додаткових обмежень на область його застосування і методи.

Згідно *четвертого* трактування **системний аналіз** – це цілком конкретний теоретико-прикладний напрям досліджень, заснований на системній методології, що характеризується певними принципами, методами і сферою застосування. Він включає як методи аналізу, так і методи синтезу.

Четверте трактування найбільш адекватно відображає спрямованість системного аналізу та сукупність використовуваних ним методів.

Отже, **системний аналіз** – це сукупність певних наукових методів і практичних прийомів розв’язання різноманітних проблем, що виникають у всіх сферах цілеспрямованої діяльності суспільства, на основі системного підходу і представлення об’єкту дослідження у вигляді системи. Характерним для систе-

много аналізу є те, що пошук кращого рішення проблеми починається з визначення та впорядкування цілей діяльності системи, при функціонуванні якої виникла ця проблема. При цьому встановлюється відповідність між цілями, можливими шляхами вирішення проблеми, що виникла, та необхідними для цього ресурсами.

Системний аналіз характеризується головним чином упорядкованим, логічно обґрунтованим підходом до дослідження проблем і використання існуючих методів їх вирішення, які можуть бути розроблені в рамках інших наук.

*Метою системного аналізу* є повна і всебічна перевірка різних варіантів дій з точки зору кількісного та якісного зіставлення витрачених ресурсів з отримуваним ефектом. Системний аналіз, по суті, є засобом встановлення рамок для систематизованого і більш ефективного використання знань, суджень та інтуїції фахівців; він зобов'язує до певної дисципліни мислення.

Системний аналіз призначений для вирішення у першу чергу *слабоструктурованих проблем*, тобто проблем, склад елементів і взаємозв'язків яких встановлений тільки частково, завдань, що виникають, як правило, в ситуаціях, які характеризуються наявністю фактора невизначеності та містять формалізовані елементи, що неперекладні на мову математики.

*Об'єкт* системного аналізу в *теоретичному аспекті* – це процес підготовки та прийняття рішень, в *прикладному аспекті* – різні конкретні проблеми, що виникають при створенні та функціонуванні систем.

На відміну від багатьох наук, головною метою яких є відкриття та формулювання об'єктивних законів і закономірностей, властивих предмету вивчення, системний аналіз в основному спрямований на вироблення конкретних рекомендацій, в тому числі і на основі використання досягнень теоретичних наук у прикладних цілях.

“Його цілі на противагу цілям чистої науки в першу чергу полягають у виробленні рекомендацій або, принаймні, припущень щодо вибору курсу дій, а не просто у виявленні проблеми і пророкуванні її розвитку. Таким чином, системний аналіз ближче до інженерних дисциплін, ніж до науки ... наука відкриває нові явища, в той час як інженерні дисципліни використовують результати науки”. Від інженерних дисциплін системний аналіз відрізняє більш обмежена можливість використання математичних методів і кількісної інформації, заснованої на реальних вимірах і досить суворих розрахунках, а також більшу питому вагу евристичних методів.

Все це дає підставу говорити про *подвійну природу* системного аналізу: з одного боку, це теоретичний і прикладний науковий напрям, що використовує у практичних цілях досягнення багатьох інших наук, як точних (математика), так і суспільних (економіка, соціологія), а з іншого боку – це мистецтво. У ньому поєднуються об'єктивні та суб'єктивні аспекти, причому суб'єктивні притаманні як самому процесу системного аналізу, так і процесу прийняття рішення на основі його даних.

Закінчуючи розгляд основних методологічних компонентів системного аналізу, слід зазначити, що йому притаманні певні принципи, логічні елементи, певна етапність і методи проведення. Наявність (без винятку) всіх цих компонентів і робить аналіз певної проблеми системним.

До основних принципів системного аналізу належать:



*Принцип оптимальності* – знаходження варіанту рішення, який є найкращим за комплексом показників для заданих умов. Завдання полягає не в тому, щоб знайти рішення краще існуючого, а в тому, щоб знайти найкраще зі всіх можливих рішень.

*Принцип емерджентності* виражає наступну властивість системи: чим більша система і чим більша різниця між розмірами частини та цілого, тим вищою є ймовірність, що властивості цілого дуже відрізняються від властивостей частин. Цей принцип підкреслює можливість розбіжності локальних оптимумів цілей окремих частин з глобальним оптимумом цілі системи.

*Принцип системності* передбачає підхід до об'єкта як до комплексного утворення, системи, що представлена сукупністю взаємопов'язаних часткових елементів (функцій), реалізація яких забезпечує досягнення певного ефекту в мінімальні терміни, з мінімальними витратами ресурсів тощо. Він передбачає дослідження об'єкта, з одного боку, як єдиного цілого, а з другого – як частини більшої системи, в якій досліджуваний об'єкт взаємодіє з іншими системами.

*Принцип ієрархії* – це тип структурних відносин у складних багаторівневих системах, які характеризуються впорядкованістю, організованістю взаємодії між окремими рівнями по вертикалі.

Під *ієрархією* системи розуміють розташування її підсистем або елементів за певним порядком від вищого до нижчого. Ієрархічні відносини існують у багатьох системах, для яких характерна як структурна, так і функціональна диференціація, тобто здатність реалізувати певне коло функцій. На вищих рівнях здійснюються функції інтеграції, узгодження. Необхідність ієрархічної побудови складних систем обумовлюється тим, що управління в них пов'язано з переробкою і використанням великих масивів інформації, причому на нижчих рівнях використовується детальніша і конкретніша інформація, що охоплює лише окремі аспекти функціонування системи, а на вищі рівні надходить узагальнена інформація, котра характеризує функціонування всієї системи. В реальних системах ієрархічна структура ніколи не буває абсолютно жорсткою, оскільки ієрархія поєднується з більшою або меншою автономністю нижчих рівнів стосовно вищих, а в управлінні використовуються властиві кожному рівню можливості самоорганізації.

*Принцип інтеграції* передбачає, що дослідження спрямовуються на вивчення інтегративних властивостей і закономірностей. Інтегративні властивості проявляються в результаті сполучення елементів з утворенням цілого, а також сполучення функцій у часі та просторі. При цьому виникає синергетичний ефект, тобто ефект сполучення дій.

*Принцип формалізації* спрямований на отримання кількісних і комплексних характеристик об'єкта і його елементів.

**Етапи системного аналізу** можна подати наступним чином:

#### ***I етап. Аналіз проблеми***

1. Визначення проблеми.
2. Точне формулювання проблеми.
3. Аналіз логічної структури проблеми.
4. Аналіз розвитку проблеми (в минулому і майбутньому).
5. Визначення зовнішніх зв'язків проблеми.
6. Виявлення принципової можливості вирішення проблеми.

#### ***II етап. Визначення системи***

1. Специфікація завдання (формулювання завдання).

2. Визначення позиції дослідника.
3. Визначення об'єкта.
4. Виокремлення елементів (визначення меж розчленування системи).
5. Визначення середовища.

### ***III етап. Аналіз структури системи***

1. Визначення рівнів ієрархії.
2. Визначення підсистем.
3. Визначення процесів і функцій.
4. Визначення процесів управління і каналів інформації.
5. Визначення зв'язків і функцій поточної діяльності (рутинних) і розвитку (цільових).

### ***IV етап. Формулювання загальної цілі та критерію системи***

1. Визначення цілей, вимог надсистеми.
2. Визначення цілей та обмежень середовища.
3. Формулювання загальної цілі.
4. Формулювання загального критерію.
5. Декомпозиція цілей і критеріїв за підсистемами.
6. Композиція загального критерію з критеріїв підсистем.

### ***V етап. Декомпозиція цілі, виявлення потреби у ресурсах і процесах***

1. Формулювання цілей вищого рангу.
2. Формулювання цілей у підсистемах.
3. Формулювання цілей ефективності.
4. Формулювання цілей розвитку.
5. Формулювання зовнішніх цілей та обмежень.
6. Виявлення потреб у ресурсах і процесах.

### ***VI етап. Виявлення ресурсів і процесів, композиція цілей***

1. Оцінка існуючих технологій і потужностей.
2. Оцінка сучасного стану та наявності ресурсів.
3. Оцінка реалізованих і запланованих проектів.
4. Оцінка можливостей взаємодії з іншими системами.
5. Оцінка соціальних проектів.
6. Композиція цілей.

### ***VII етап. Прогноз та аналіз майбутніх умов***

1. Аналіз стійких тенденцій розвитку системи.
2. Прогноз розвитку і зміни середовища.
3. Передбачення появи нових факторів, які впливають на розвиток системи.
4. Аналіз ресурсів майбутнього.
5. Комплексний аналіз взаємодії факторів майбутнього розвитку.
6. Аналіз можливих змін цілей і критеріїв.

### ***VIII етап. Оцінка цілей і засобів***

1. Розрахунок кількісних оцінок з визначеного критерію.
2. Оцінка взаємозалежностей цілей.
3. Оцінка відносної важливості цілей.

4. Оцінка дефіцитності і вартості ресурсів.
5. Оцінка впливу зовнішнього середовища.
6. Розрахунок комплексних (інтегральних) оцінок.

#### ***IX етап. Вибір варіантів***

1. Аналіз цілей на сумісність.
2. Перевірка цілей на повноту.
3. Відсікання надлишкових цілей.
4. Планування варіантів досягнення окремих цілей.
5. Оцінка і порівняння варіантів.
6. Сполучення комплексу взаємопов'язаних варіантів.

#### ***X етап. Діагноз існуючої системи***

1. Моделювання технологічних та економічних процесів.
2. Розрахунок потенційних і фактичних потужностей.
3. Аналіз втрачених потужностей.
4. Виявлення недоліків організації виробництва й управління.
5. Виявлення заходів щодо удосконалення організації.

#### ***XI етап. Розробка комплексної програми розвитку***

1. Розробка програм, проектів, заходів.
2. Визначення черговості цілей та заходів щодо їх досягнення.
3. Розподіл сфер діяльності.
4. Розподіл сфер компетенції.
5. Розробка комплексного плану заходів з урахуванням обмежень за ресурсами і часом.
6. Розподіл заходів між відповідальними організаціями, керівниками та виконавцями.

#### ***XII. Проектування організації для досягнення цілі***

1. Визначення цілей організації.
2. Формулювання функцій організації.
3. Проектування організаційної структури.
4. Проектування інформаційної підсистеми.
5. Проектування режимів роботи.
6. Проектування соціальної підсистеми.

На першому етапі необхідно з'ясувати, чи існує проблема взагалі, щоб не витратити багато часу та зусиль для розв'язання псевдопроблеми, а також правильно і точно сформулювати проблему. На другому етапі проблема піддається декомпозиції, тобто формується комплекс чітко сформульованих завдань, визначається позиція спостерігача стосовно об'єкта дослідження, критерії декомпозиції, виокремлюються підсистеми, окреслюється зовнішнє середовище. Третій етап передбачає вивчення структури системи, її функцій і процесів, їхню специфікацію (виокремлення рутинних процесів і процесів розвитку). Четвертий етап полягає у формулюванні мети системи, декомпозиції цілей, їх узгодженні із засобами досягнення. На п'ятому та шостому етапах формулюються цілі різних рівнів ієрархії, зовнішні обмеження, виявляються потреби в ресурсах для реалізації цілей, здійснюється композиція цілей. Оскільки системний аналіз застосовується переважно для розв'язання стратегічних проблем, необхі-

дно на сьомому етапі врахувати майбутнє (ресурси, цінності, технології тощо), тобто здійснити прогнозування. Восьмий етап передбачає оцінювання за встановленими критеріями різних факторів, що впливають на систему: соціальних, економічних, політичних, моральних тощо, а також кількісну оцінку цілей і ресурсів. Дев'ятий етап має на меті коригування цілей і порівняння різних варіантів розв'язання проблеми, приведення їх у відповідність з наявними ресурсами. Системний аналіз призначений для покращення функціонування існуючих систем, тому важливим етапом є діагноз стану системи із застосуванням різноманітних методів аналізу та моделювання. Останні два етапи спрямовані на виявлення важливих проблем управління системою, розробку комплексу заходів, що повинні реалізуватися для досягнення поставленої мети, при цьому може виникнути необхідність у проектуванні додаткових структур управління або перепрофілюванні вже існуючих.

### 3 Методи системного аналізу

У процесі розв'язання складних проблем застосовуються відповідні методи, тобто систематичні процедури або техніки генерації описань компонентів системи. Одним з таких методів є *метод аналізу ієрархій*, який ґрунтується на ієрархічному представленні елементів, що визначають суть проблеми. Проблема розбивається на простіші складові з наступним оцінюванням ступеня взаємодії елементів отриманої ієрархічної структури з використанням принципу ідентичності і декомпозиції. Застосування цього методу визначається характером зв'язків між критеріями й альтернативами, при цьому можливі два варіанти зв'язків: перший варіант – кожний критерій зв'язаний з усіма альтернативами, другий – кожний критерій зв'язаний з певними альтернативами.

У процесі системного аналізу здійснюється попарне порівняння альтернатив, порівняння альтернатив зі стандартами та копіюванням. Останні два підходи застосовуються у тих випадках, коли відсутні кількісні оцінки альтернатив за відповідними критеріями. Побудова ієрархії починається з визначення мети (корінь ієрархії), проміжних рівнів (аспекти мети, критерії і т.д.), а також альтернатив (найнижчий рівень ієрархії).

Для виявлення і структуризації важких для розуміння та дослідження проблем, котрі характеризуються великою кількістю і складним характером взаємозв'язків, доцільно застосовувати *метод “дерева цілей”* або *“дерева рішень”*. Цей метод орієнтований на отримання повної та відносно стійкої структури цілей, проблем, функцій, напрямків, тобто такої структури, яка мало змінюватиметься протягом певного терміну. Цілі (рішення) мають ієрархічний характер, при цьому цілі (рішення) вищого рівня не можуть бути досягнуті, поки не досягнуті цілі (рішення) найближчого нижнього рівня. З переміщенням на нижчі рівні ієрархії цілі (рішення) конкретизуються. У процесі побудови та використання “дерева цілей” або “дерева рішень” необхідно прагнути їх чітко і конкретно формулювати, забезпечити можливість кількісного чи порядкового оцінювання ступеня їхньої реалізації. Якщо цей процес зобразити графічно, то отримаємо, наприклад, наступне “дерево цілей” (рис. 8.1).

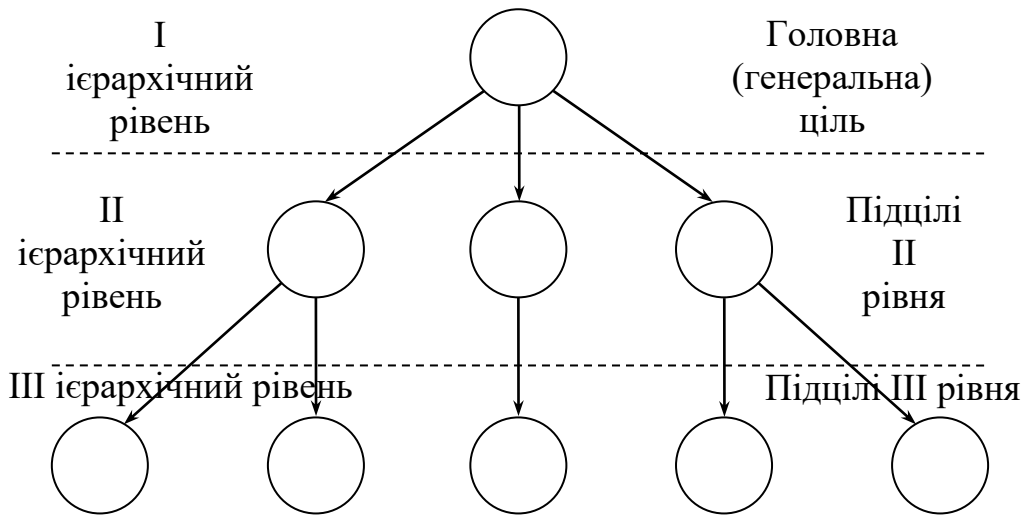


Рисунок 8.1 – Граф “дерева цілей”

Головним результатом застосування цього методу є те, що він дає можливість поділу головного (генерального) завдання (цілі) на сукупність простіших завдань, для розв’язання яких існують певні методи та прийоми. Послідовний поділ мети дослідження на підпроблеми є важливим етапом системного аналізу. Такий поділ необхідно продовжувати доти, поки не отримуються прості, досить очевидні завдання, котрі можна реалізувати відомими способами і методами.

Метод побудови “дерева цілей” – це ефективний і дуже поширений спосіб вирішення слабоструктурованих проблем і завдань у галузі економіки, державного управління, менеджменту, при дослідженні й удосконаленні організаційних структур, проведенні наукових досліджень тощо.

Отже, в процесі побудови “дерева цілей” як методу наукового дослідження на першому етапі необхідно:

- чітко визначити і сформулювати головну мету (ціль) дослідження;
- визначити цілі другого порядку та завдання дослідження;
- виявити інформацію про параметри системи та зовнішнього середовища, які досліджуються;
- визначити допущення й обмеження, в рамках яких проводиться дослідження та розв’язується проблема.

Наступний етап полягає у визначенні критеріїв та обмежень. Під **критеріями** розуміють певні кількісні параметри цілей (підцілей, завдань), які повинні точніше їх характеризувати. Найпоширенішими критеріями, наприклад, при аналізі ефективності функціонування економічних систем є прибуток, собівартість продукції, обсяги її збуту, конкурентоспроможність тощо. Наступним етапом є генерування альтернатив, тобто гіпотез про можливі шляхи та способи досягнення визначеної мети. Генерування альтернатив є творчим процесом, при цьому застосовують різні методи (процедури): метод мозкового штурму, метод “Дельфі”, інші методи експертних оцінок, сценарний аналіз, синектика, ділові ігри тощо.

Особливий клас методів системного аналізу становлять **експертні оцінки**, котрі пов’язані з безпосереднім опитуванням експертів. Можливість їх за-

стосування, обґрунтування їхньої об'єктивності базується на тому, що значення досліджуваної характеристики знаходиться всередині діапазону оцінок, отриманих від групи експертів, і що узагальнена колективна думка є достовірною.

**Метод Дельфі** – це ітеративна процедура при проведенні мозкової атаки для підвищення ефективності експертних опитувань з використанням кількісних оцінок при розробці “дерева цілей” і сценаріїв. Найчастіше цей метод реалізується наступним чином. Під час першого туру для експертів формулюється мета експертизи та перелік запитань у вигляді анкети. Відповіді експертів опрацьовуються аналітичною групою за відповідним алгоритмом. На другому турі експерти отримують усереднені оцінки та обґрунтовані граничні оцінки, коригують відповідно до них свої попередні оцінки. Скорегована інформація знову опрацьовується аналітичною групою. Кількість турів визначається ступенем узгодженості думки експертів. Отже, основними особливостями методу Дельфі є: анонімність висловлювань; обґрунтування думок експертів з граничними оцінками; наявність оберненого зв'язку, що реалізується за допомогою багатокрокового опитування.

З початку 50-х рр. ХХ ст. дуже інтенсивно почав використовуватися **метод мозкового штурму (мозкової атаки)**. Методи цього типу відомі також під назвами “конференція ідей” і “колективна генерація ідей”. Суть вказаних методів зводиться до того, що експертам надається повна свобода мислення і висловлювання нових ідей. Для цього розглядаються всі продуковані ідеї, не допускається критика і не припиняється обговорення жодної з них. З цією метою створюється атмосфера, котра сприяє генерації нетривіальних ідей і звільняє експертів від стереотипного мислення.

**Метод сценаріїв** передбачає, що способи та процедури підготовки й узгодження уявлень про проблему чи об'єкт, які досліджуються, викладені у письмовому вигляді (сценарій). Спочатку цей метод припускав підготовку тексту, що містить логічну послідовність подій чи можливі варіанти розв'язання проблеми. Однак пізніше сценарієм стали називати будь-який документ, який містить аналіз проблеми та пропозиції щодо її розв'язання, а також напрямки розвитку об'єкта як системи. Як правило, сценарій готується кожним експертом окремо, а потім думки експертів узгоджуються.

Використання широкого кола експертів з різних галузей знань і сфер діяльності забезпечує різноаспектний, різносторонній розгляд проблеми, дає змогу виконати її декомпозицію, виявити зв'язки з іншими проблемами. Метод сценаріїв можна використовувати на різних етапах системного аналізу, коли необхідно зібрати і впорядкувати різномірну та неструктуровану інформацію, хоча в більшості випадків цей метод є ефективним на 7, 10-12 етапах.

Метод сценаріїв або відлагодження і тестування стратегічних припущень ґрунтується на передумові, що розходження в думках експертів залежать від суперечливої початкової інформації про проблему, їхні цілі та завдання в процесі розв'язання проблеми, тобто, якщо експерти досягають консенсусу з багатьох припущень, то найімовірніше вони досягнуть його при розробці плану дій для досягнення усвідомлених цілей. Цей метод переважно реалізується впродовж чотирьох етапів. На першому етапі експерти уточнюють припущення, що

відповідають їхнім стратегіям при розв'язанні проблеми. Повний перелік припущень, узгоджений з цілями системи та індивідуальними цілями експертів, є достатньо чітким відображенням проблеми. На другому етапі вивчаються контрпропозиції з метою виявлення, чи можуть вони слугувати ґрунтом для принципово нового формулювання проблеми або повністю нової стратегії. На третьому – проводяться переговори з метою об'єднання всіх пропозицій і стратегій шляхом досягнення угоди (узгодженої думки експертів), яку можна вважати синтезованою основою для вдосконалення формулювання проблеми. На четвертому етапі формується узгоджена стратегія, що базується на множині припущень, з яких досягнуто угоду. Цей метод застосовується для розв'язання слабоструктурованих проблем, в яких стратегії розвитку системи спираються на гостро конфліктні припущення.

*Метод комісії* полягає в організації та проведенні відкритої дискусії з метою отримання єдиного узгодженого висновку експертів, причому цей висновок визначається шляхом голосування. Перевагою цього методу є можливість підвищення рівня інформованості експертів і зміна їх попередніх висновків у процесі обговорення. До недоліків можна віднести відсутність анонімності, що може призвести до неформального впливу більш авторитетних експертів, різну активність експертів, яка часто не залежить від їх компетентності, публічність обговорення. Одним з різновидів цього методу є *метод суду*, коли частина експертів підтримує певну альтернативу і наводить аргументи на її користь, а частина – є противниками, котрі обґрунтовують її недоліки.

## РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Берталанфи Л. фон Общая теория систем: критический обзор // Исследования по общей теории систем. – М.: Прогресс, 1969. – С. 23-82.
2. Бех В.П., Туленков М.В. Теорія систем і системний аналіз в управлінні: підручник. – Київ: Інтерсервіс, 2021. – 679 с.
3. Бурименко Ю.И. Основы теории систем и системного анализа: учеб. пособ. / Ю.И. Бурименко, Л.В. Галан, И.Ю. Лебедева, А.Ю. Щуровская. – Одесса: ОНАС им. А.С. Попова, 2019. – 136 с.
4. Грицюк П.М., Джоші О.І., Гладка О.М. Основи теорії систем і управління: навч. посіб. Рівне: НУВГП, 2021. – 272 с.
5. Панкратова Н.Д. Системний аналіз. Теорія та застосування: підручник / Н.Д. Панкратова; НАНУ, НТУУ “КПІ”, ІПСА НАНУ. – Київ: Наук. думка, 2018. – 347 с.
6. Теория развития систем: монография / Л.Г. Мельник. – Сумы: Университетская книга, 2017. – 416 с.
7. Теория самоорганизации экономических систем: монография / Л.Г. Мельник. – Сумы: Университетская книга, 2019. – 439 с.
8. Теорія систем і системний аналіз: навчальний посібник / О.А. Балтовський, К.Ю. Ісмаїлов, О.І. Сіфоров, Г.В. Форос, О.М. Заєць; за заг. ред. Балтовського О.А. – Одеса: РВВ ОДУВС, 2021. – 156 с.
9. Швець С.В. Основи системного аналізу: навчальний посібник / С.В. Швець, У.С. Швець. – Суми: Сумський державний університет, 2017. – 126 с.
10. Drack, Manfred; Apfalter, Wilfried; Pouvreau, David. On the Making of a System Theory of Life: Paul A Weiss and Ludwig von Bertalanffy's Conceptual Connection // The Quarterly Review of Biology. 82 (4): 11 March 2017. – 349-373.
11. Wilkinson, L.A. (2021). Systems Theory. In: Goldstein, S., Naglieri, J.A. (eds) Encyclopedia of Child Behavior and Development. Springer, Boston, MA.



## Додаток А

Таблиця А.1 – Зміст механізмів зворотного зв'язку для підприємства у відповідь на зменшення попиту на його продукцію та зниження обсягів її продажів

Вид (напрямок) механізму зворотного зв'язку	Зміст дії	Вид витрат вільної енергії (квазіенергії)
Негативний	Дії, спрямовані на збереження обсягу реалізації продукції через: а) додатковий маркетинг та рекламу; б) підвищення якості продукції та збереження обсягу продажів за збереження цінового рівня або вимушене зменшення обсягу продажів при підвищенні ціни продукції; в) зменшення ціни реалізованої продукції з перспективами збільшення обсягу продажу та збереження загального обсягу реалізації	а) додаткові витрати на маркетинг та рекламу; б) збільшення собівартості продукції, яке, як правило, веде до зменшення обсягу отриманого прибутку; в) зменшення обсягу прибутку, який можна отримати від реалізації продукції
Позитивний	Відмова від продукції, що випускалася раніше, і перехід до випуску та реалізації нової продукції	Витрати на модернізацію виробництва, втрачена вигода від виробництва та можливої реалізації продукції, що випускалася раніше

Для розуміння змісту табл. А.1 слід зазначити, що обсяг реалізації продукції (TR) визначається добутком обсягів продажу продукції (Q) та ціни за її одиницю (P):  $TR = Q \cdot P$ . Таким чином, зменшення обсягів продажу може компенсуватися підвищенням ціни. І навпаки. Слід зазначити, що економічне трактування кінцевого результату, який визначається за наведеною формулою, може істотно відрізнятися від математичної інтерпретації результату обчислень. Це пояснюється, перш за все, тим, що в економіці між значеннями співмножників вищенаведеної формули діють зворотні зв'язки. Зокрема, слід враховувати, що в економіці на відміну від математики зменшення одного із співмножників (наприклад, P) може не тільки не зменшити величину добутку, а навпаки, призвести до його збільшення. Адже завдяки зменшенню ціни на продукцію (P) може збільшитися попит на неї і вирости загальний обсяг її продажів (Q). Прибуток, отриманий від продажу продукції (П), залежить від загального обсягу реалізації та собівартості продукції (С):  $П = TR - С$ . Таким чином, чим більша собівартість продукції, тим менший отриманий прибуток, який є аналогом надходження додаткової вільної квазіенергії в цю економічну систему.