

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД  
«ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»

# **ОСНОВИ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ** **(теоретико-методологічні аспекти)**

для студентів технічних спеціальностей вищих навчальних закладів

Навчальний посібник

За науковою редакцією доктора філософії  
М.П. Костюченка

Покровськ  
ДВНЗ «ДонНТУ»  
2017

Рекомендовано до друку рішенням вченої ради ДВНЗ «ДонНТУ» (протокол №10, від 23.02.2017).

Автори:

*М.П. Костюченко*, доктор філософії, доцент (ДВНЗ «ДонНТУ»);

*Я.О. Ляшок*, доктор економічних наук, доцент (ДВНЗ «ДонНТУ»);

*С.В. Подкопаєв*, доктор технічних наук, професор (ДВНЗ «ДонНТУ»);

*О.Е. Кіпко*, доктор технічних наук, професор (ДВНЗ «ДонНТУ»).

Рецензенти:

*В.М. Хобта* – доктор економічних наук, професор, ДВНЗ «Донецький національний технічний університет» МОН України (м. Покровськ);

*А.Г. Мнухін* – доктор технічних наук, професор, Державна інженерна академія (м. Запоріжжя).

**Костюченко М.П., Ляшок Я.О., Подкопаєв С.В., Кіпко О.Е.**

Основи управління якістю (теоретико-методологічні аспекти): навчальний посібник для студентів технічних спеціальностей / М.П. Костюченко, Я.О. Ляшок, С.В. Подкопаєв, О.Е. Кіпко; за ред. М.П. Костюченка. – Покровськ: ДВНЗ «ДонНТУ», 2017. – 447 с.

ISBN 978-966-377-212-7

У навчальному посібнику викладені теоретико-методологічні аспекти управління якістю. Велика увага приділяється аналізу базових термінів і понять. Сутність управління якістю розглядається на основі системного, структурного, ентропійного, функціонального, модельного, проектного, діяльнісного, процесного, ситуаційного, кібернетичного та синергетичного підходів.

На відміну від традиційних посібників економічного спрямування, акцент ставиться на якість виробів, які являють собою технічні системи, що нині зазнають бурхливий розвиток у напрямках функцій керування, регулювання та узгодження як головних додатків кібернетики, штучного інтелекту, автоматизації та електроніки. Вказані функції вже досягли високого рівня та продовжують вдосконалюватися і, як наслідок, неминуче сприяють підвищенню якості технічних виробів та розширенню їх можливостей

Здійснена спроба описати теорію управління якістю з методичними та практичними застосування на двох рівнях: пояснювально-описовому (рівень навчальної програми) й абстрактно-формалізованому (рівень дослідницький, глибинний). Акцент ставиться на питаннях методології досліджень, зокрема на задачах прийняття рішень, методах управління якістю, імовірнісно-статистичних методах, інструментах контролю якості та процесах розгортання функції якості (QFD).

Навчальний посібник відповідає вимогам освітньо-професійних програм підготовки бакалаврів технічного спрямування з питань управління якістю. Деякі вузлові аспекти теорії якості, а також питання міждисциплінарного характеру будуть корисні викладачам-початківцям вищих технічних навчальних закладів.

ISBN 978-966-377-212-7

УДК 005.336.3 (075. 8)



### **Костюченко Михайло Петрович**

Доктор філософії (канд. пед. наук), доцент кафедри охорони праці ДонНТУ.

Закінчив з відзнакою: фізико-математичний факультет Київського держ. пед. інституту і загальнотехнічний факультет КПІ.

Автор понад 150 наукових праць, у т. ч. 3-х монографій, 9-и навчальних посібників.



### **Ляшок Ярослав Олександрович**

Доктор економічних наук, доцент, в. о. ректора ДонНТУ.

Закінчив Донецький політехнічний інститут.

Автор понад 130 наукових праць, у т. ч. 3-х монографій, 4-х навчальних посібників.



### **Подкопаєв Сергій Вікторович**

Доктор технічних наук, професор, декан гірничого факультету ДонНТУ, дійсний член Академії будівництва України.

Закінчив Донецький політехнічний інститут.

Автор понад 200 наукових праць, в у т. ч. 5-х монографій, 4-х навчальних посібників. Автор 2-х наукових відкриттів.



### **Кіпко Олександр Ернестович**

Доктор технічних наук, професор, дійсний член Академії будівництва України.

Закінчив Донецький політехнічний інститут.

Автор понад 100 наукових праць, у т. ч. 4-х монографій, 2-х навчальних посібників.

Список умовних скорочень.....	6
Передмова.....	7
<b>Вступ.....</b>	<b>10</b>
<b>Розділ 1. Методологія управління якістю.....</b>	<b>13</b>
1.1. Термінологічний апарат.....	13
1.2. Основні поняття системного підходу.....	16
1.3. Аналіз технічних об'єктів як систем.....	22
1.4. Два наукових підходи до проектування технічних і дидактичних об'єктів.....	31
1.5. Виробничі системи, виробництво.....	38
1.6. Управління і керування у виробничих системах.....	44
1.7. Виробнича продукція, товари та послуги.....	54
1.8. Діяльність, мотивація та потреби.....	59
1.9. Створення якості продукції або послуги.....	65
1.10. Методика оцінювання якості навчальної діяльності (рівня компетентності).....	71
Контрольні запитання.....	75
<b>Розділ 2. Характеристики, показники та рівні якості продукції.....</b>	<b>78</b>
2.1. Характеристики якості продукції.....	78
2.2. Показники якості продукції.....	81
2.3. Ієрархія рівнів якості складних технічних систем.....	95
Контрольні запитання.....	104
<b>Розділ 3. Еволюція мислення в сфері управління якістю: методи прийняття рішень.....</b>	<b>107</b>
3.1. Якість управлінської діяльності та управлінських рішень.....	107
3.2. Загальні уявлення про методи прийняття рішень.....	109
3.3. Задачі прийняття рішень в умовах визначеності.....	117
3.4. Задачі прийняття рішень в умовах ризику та стохастичної (статистичної) невизначеності.....	124
3.5. Задачі прийняття рішень в умовах нестохастичної невизначеності.....	146
Контрольні запитання.....	156
<b>Розділ 4. Цілепокладання, управління та керування в організаційних, ергатичних, організаційно-технічних і дидактичних системах.....</b>	<b>159</b>
4.1. Поняття про організаційні та ергатичні системи.....	159
4.2. Поняття про процеси цілепокладання в організаційних системах....	170
4.3. Цілі та цінності суб'єктів діяльності.....	176
4.4. Ситуаційна мета діяльності та вирішення проблем.....	181
4.5. Управління в організаційних системах.....	188
4.6. Управління в ергатичних та керування в технічних системах.....	205
4.7. Інтелектуальні системи керування організаційно-технічними системами.....	217
4.8. Управління в дидактичних системах.....	222
4.9. Роботизований цех як приклад кібернетичної системи.....	236
Контрольні запитання.....	239

<b>Розділ 5. Розвиток організаційних і технічних систем.....</b>	<b>243</b>
5.1. Теоретичні засади синергетики.....	243
5.2. Моделі розвитку синергетичних систем.....	249
5.3. Розвиток організаційних систем.....	257
5.4. Техносфера та її артефакти.....	264
5.5. Закономірності розвитку технічних систем як носіїв якості та соціальних потреб.....	268
Контрольні запитання.....	278
<b>Розділ 6. Концепції управління якістю.....</b>	<b>280</b>
6.1. Розвиток менеджменту як фон розвитку концепцій управління якістю.....	280
6.2. Історичний аналіз концепцій управління якістю.....	285
6.3. Розвиток наукових підходів до управління якістю.....	295
6.4. Концепція “Загальне управління якістю” (TQM).....	298
Контрольні запитання.....	312
<b>Розділ 7. Моделі, принципи, методи та системи управління якістю.....</b>	<b>314</b>
7.1. Моделі управління якістю .....	314
7.2. Принципи вдосконалення якості.....	316
7.3. Методологічні положення управління якістю.....	327
7.4. Основні наукові моделі концепцій якості.....	334
7.5. Система якості та система управління якістю.....	342
7.6. Управління витратами на забезпечення якості.....	347
Контрольні запитання.....	352
<b>Розділ 8. Методи й інструменти контролю якості.....</b>	<b>355</b>
8.1. Оцінювання та вимірювання показників якості.....	354
8.2. Теоретико-ймовірнісні моделі контролю й аналізу якості.....	363
8.3. Застосування закону великих чисел для контролю й аналізу якості.....	380
8.4. Статистичні методи та інструменти контролю якості.....	390
8.5. Сім традиційних методів контролю якості.....	398
8.6. Сім нових інструментів управління якістю.....	407
8.7. Розгортання функцій якості.....	416
8.8. Етапи еволюції теорії якості та персоналії.....	424
Контрольні запитання.....	433
<b>Висновки.....</b>	<b>436</b>
Список використаних та рекомендованих джерел.....	438

## СПИСОК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АЕП	Автоматизований електропривод	ПЗЗ	Позитивний зворотний зв'язок
АСКВ	Автоматизована система керування виробництвом	ПК	Персональний комп'ютер
АСУ	Автоматизовані системи управління	ПО	Предметна область
БД	База даних	ПрК	Пристрій керування
БЗ	База знань	САК	Системи автоматичного керування
ВНЗ	Вищий навчальний заклад	САПР	Система автоматизованого проектування
ДРПК	Діапазон рівнів професійної компетентності	САР	Системи автоматичного регулювання
ДС	Дидактична система	СНП	Силовий напівпровідниковий прилад
ЕОМ	Електронно-обчислювальна машина	СОКЯ	Сім основних інструментів контролю за якістю
ЕС	Ергатична система	СС	Складна система
ЖЦ	Життєвий цикл	СТС	Складна технічна система
ЗСЗ	Зворотні синергетичні зв'язки	СТУ	Ситуаційна теорія управління
ІМ	Інформаційний модуль	СЯ	Система якості
ІС	Інтелектуальні системи	ТКС	Технічна керована система
ІСК	Інтелектуальні системи керування	ТО	Технічний об'єкт
ККД	Коефіцієнт корисної дії	ТР	Технічне рішення
КС	Кібернетична система	ТС	Технічна система
МАІ	Метод аналізу ієрархій	ТФ	Технічна функція
МВЕ	Матриця відношень еквівалентності	УЯП	Управління якістю продукції
ММ	Математична модель	ФВА	Функціонально-вартісний аналіз
МП	Мікропроцесор	ФПД	Фізичний принцип дії
НЗЗ	Негативний зворотний зв'язок	ФО	Фізична операція
НТП	Науково-технічний прогрес	ФС	Функціональна структура
ООП	Об'єктно-орієнтований підхід	ШНМ	Штучна нейронна мережа
ОП	Об'єкт проектування	ISO	Міжнародна організація зі стандартизації
ОПР	Особа, що приймає рішення	S	Система
ОС	Організаційна система	SS	Самоорганізовані системи
ПГ	Предметна галузь	TQC	Загальний контроль якості
ПЗ	Програмне забезпечення	TQM	Загальне управління якістю

# Передмова

Необхідність у написанні цього навчального посібника двоїста. По-перше, нинішнє ХХІ століття – епоха не тільки інформаційно-комунікаційних технологій, але й *епоха глобальної якості*. По-друге, практично майже всі аналогічні наявні підручники і навчальні посібники призначені для економічних спеціальностей. У вказаних навчальних джерелах акцент робиться на проблеми якості товарів на фоні менеджменту та маркетингу, а на суто технічних та технологічних проблемах зосередженість мінімальна.

Особливістю даної книги є спроба розкрити питання управління якістю не за традиційним способом викладу змісту, який тяжіє до економічних категорій, а показати вплив теорій моделювання, проектування та розвитку технічних систем на стан методів й інструментів управління якістю.

У цьому зв'язку, автори, зважаючи на орієнтацію змісту посібника на технічні спеціальності, мало уваги приділяли *економічному аспекту* проблеми якості (підвищення якості продукції та послуг як основа підвищення ефективності економіки країни), а також *політичному аспекту* (масове і серійне виробництво продукції високої якості на промислових підприємствах виступає одним із критеріїв розвитку суспільства, показником високого рівня економічного розвитку держави), а зосередили увагу на таких аспектах:

- **науково-технічний** (зв'язок між підвищенням якості продукції та зростанням темпів науково-технічного прогресу і навпаки);
- **організаційний** (залежність підвищення якості від організації суспільного виробництва, удосконалення менеджменту організацій);
- **соціальний** (підвищення якості праці та вчасне доведення якості продукції у відповідність до вимог споживачів).

Зміст навчального посібника сформований на таких базових положеннях:

1. Розглядаються питання якості продукції, до якої відносяться: а) **матеріальна продукція**, а саме промислові вироби, роль яких відіграють технічні об'єкти (системи) і б) **нематеріальна продукція** на прикладі освітніх послуг. Перероблені матеріали й інтелектуальна продукція (наприклад, комп'ютерні програми) не аналізуються.
2. **Технічні системи** є носіями якості та соціальних потреб. До якості їх проектування та виготовлення пред'являються все більш високі вимоги, тому що технічні системи безперервно вдосконалюються й ускладнюються.
3. **Проблема управління якістю** виробничої продукції подана з точки зору системи науково-технічної підготовки виробництва, у завдання якої входить проектування (розробка) технічних виробів відносно більш високої якості (порівняно з попередніми), використовуючи результати фундаментальних і прикладних наукових досліджень.
4. Якщо стандартизація деталей, раціоналізація робіт, типізація вузлів, наявність високопродуктивного обладнання та кваліфікованого персоналу є засобами досягнення економічної ефективності виробів, то **якість виробів** залежить від якості науково-дослідницьких і дослідно-конструкторських розробок, проектувальних робіт, а також від якості вихідних матеріалів (природних і

штучних) і досконалості технологій виробництва, в яких ручна праця повинна (за можливістю) замінитися на автоматизовані й автоматичні процеси. Іншими словами, *оцінка якості виробу*, окрім опису економічними категоріями, повинна спиратися на всі ланки системи “наука – техніка – виробництво – споживання (експлуатація)”.

5. Акцент у книзі поставлений на *сучасній методології управління якістю*, яка використовує чималий арсенал загальнонаукових теорій та методів дослідження, що включають теорію систем, системний аналіз з його ядром – системним підходом, теорію прийняття рішень, структурний, синергетичний, функціональний, кібернетичний, процесний, діяльнісний, ситуаційний та інші наукові підходи. Увагу також приділено методам теорії ймовірностей та математичної статистики.
6. *Менеджмент якості* – скоординована діяльність з керівництва та управління організацією стосовно до якості.
7. *Управління якістю* – частина менеджменту якості, яка спрямована на виконання вимог до якості.
8. Управління якістю являє собою діяльність оперативного характеру, що здійснюється керівниками та персоналом підприємства, які впливають на процес створення якісної продукції шляхом *виконання функцій* проектування, планування, виготовлення продукції та контролю її якості, експлуатації або споживання.
9. Діяльність з розробки політики та цілей в галузі якості, планування якості, управління якістю, забезпечення та поліпшення якості супроводжується заходами з *прийняття рішень* в детермінованих і недетермінованих умовах (обставинах).

До основних завдань навчальної дисципліни відносяться *засвоєння студентами:*

- сутності технічних, організаційних, ергатичних, організаційно-технічних і дидактичних систем;
- елементів теорії технічних систем, як носіїв якості та соціальних потреб;
- закономірностей розвитку організаційних, ергатичних і технічних систем;
- характеристик, показників та рівнів якості продукції;
- основ методології управління якістю та методів прийняття рішень;
- процесів цілепокладання в організаційних системах;
- управління в організаційних, виробничих та дидактичних системах;
- керування в організаційно-технічних і технічних системах;
- концепцій, моделей, принципів, методів та систем управління якістю;
- методів й інструментів контролю якості;
- розгортання функцій якості;
- етапів еволюції теорії якості;
- роль видатних гуру якості.

Основний текст посібника розбитий на вісім розділів, які закінчуються контрольними запитаннями. Розкриття теорії супроводжується прикладами, які дозволяють зрозуміти суть розглянутого принципу, методу чи моделі. Як відзначав Ісаак Ньютон “*При вивченні наук приклади корисніше правил*”.



Незважаючи на складність деяких питань, стиль викладу матеріалу відносно доступний та відповідає нормативному рівню підготовки студентів технічних вузів. Автори намагалися не перевантажувати виклад навчального матеріалу абстрактними формулами, рівняннями та теоріями з метою більшої доступності, проте, в той же час, прагнули уникати тривіальності наукових підходів і висновків.

Враховуючи можливий діапазон попередньої підготовки студентів, матеріал викладений на двох рівнях складності – *базовому* (програмному) та *поглибленому*. У залежності від пропедевтичної підготовки, студент може обмежитися одним (основним) рівнем викладу матеріалу або додатково “заглибитися” у другий рівень.

У посібнику наводиться достатня кількість вербальних (словесних) означень, зокрема коротких за змістом (дефініцій), виділених курсивом. Іноземні слова і словосполучення забезпечуються етимологією (походженням), перекладом на українську мову і тлумаченням (експлікацією) взагалі чи до наявного контексту.

Для полегшення засвоєння програмного матеріалу наводиться достатня кількість таблиць й ілюстративного матеріалу (рисунків, графіків, діаграм тощо). З метою ініціювання студентів до самостійної та поглибленої роботи над змістом, автори включили максимально можливу кількість посилань на джерела. Для цього є численна бібліографія, яка слугує для поглиблення і розширення знань читачів з теорії якості та суміжних питань. З метою економії обсягу посібника нами введені такі позначення: **ДВ→** – додаткові відомості; **П→** – поглиблена інформація; **Т→** – теорема; **Дов.→** – доведення; **Н→** – наслідок; **Пр.** – приклад; **SE→** – розв’язання прикладу (solution of the example); **◀** – кінець додаткової інформації, математичного доведення чи розв’язання прикладу.

Автори щиро сподіваються, що пропонований Вашій увазі навчальний посібник буде не тільки корисним, але й цікавим, що дозволить багатьом з Вас поіншому поглянути на теорію управління якістю, а також на роль цієї дисципліни у сучасному світі. Окрім цього, автори переконані в тому, що *вдумлива і серйозна робота з цим навчальним посібником допоможе кожному з Вас стати сучасною освіченою людиною. Успіхів Вам!*

Навчальний посібник підготували:

*Костюченко М.П.*, доктор філософії, доцент (передмова, вступ, розділи 1; 2; 3; 4; 5, 6, 7, 8, контрольні запитання, висновки, наукове редагування);

*Я.О. Ляшок*, доктор економічних наук, професор (передмова, підрозділи: 1.9; 4.5; 6.1; 6.2; 6.4; 7.1; 7.2; 7.3);

*С.В.Подкопаєв*, доктор технічних наук, професор (передмова, підрозділи: 1.7; 7.4; 7.5; 7.6; 8.1; 8.2; 8.3; 8.7);

*О.Е. Кірко*, доктор технічних наук, професор (передмова, підрозділи: 1.5; 3.1; 6.3; 7.4; 8.4; 8.5; 8.6; 8.8).

Автори висловлюють глибоку подяку рецензентам, професору В.М. Хобта і професору А.Г. Мнухину за важливі зауваження, корисні вказівки та поради з вдосконалення початкового тексту.

Книга не претендує на вичерпний виклад питань управління якістю, тому автори будуть вдячні за критичні зауваження та пропозиції. Відгуки і зауваження просимо надсилати на електронну адресу: [mkost@i.ua](mailto:mkost@i.ua).

## Вступ

В умовах ринкових відносин у будь-яких організаціях, установах і підприємствах актуальність управління якістю визначається його спрямованістю на забезпечення такого рівня якості продукції та послуг, який може повністю задовольняти всі запити споживачів.

Міжнародна організація зі стандартизації (International Organization for Standardization, ISO) в стандарті ISO-8402 запропонувала таке означення: **“якість – сукупність характеристик об’єкта, що відносяться до його здатності задовольняти обумовлені або передбачувані потреби”**.

Під **об’єктом** в цьому визначенні розуміється все, що може бути індивідуально описане і розглянуте, тобто *виріб, товар, послуга, процес, система, організація* або окрема *особа* або будь-яка комбінація перерахованого.

Споживач може пред’являти різні вимоги до **об’єкта**, як *засобу задоволення потреб*. Узагальнені загальні вимоги споживача до об’єкта такі: функціональність, безпечність, економічність, естетичність, зручність (комфортність).

Загальний термін “якість” при проведенні технічного оцінювання застосовується в таких ситуаціях:

- **відносна якість** (при порівнянні об’єктів з метою виявлення ступеня переваги);
- **рівень якості** (при кількісному статистичному оцінюванні);
- **міра якості** (при проведенні точного технічного оцінювання).

У практичній діяльності термін “*об’єкт*” зазвичай замінюється терміном **“продукція”** – *результат процесу (процесів) або будь-якої діяльності*.

Продукція може бути як матеріальна (**вироби**), так і нематеріальна (**послуги**). Зазначимо, що послуга виробничого характеру називається **роботою** (наприклад, установлення і налагодження устаткування).

Зазначимо, що робота – це цілеспрямована людська діяльність, природне і невід’ємне право, яке полягає у виробництві матеріальних благ, надання послуг, виконання завдань тощо. Результатом узагальнення поняття “*робота*” на клас індивідуумів є поняття **“праця”** – свідомо діяльність людей, що спрямована на перетворення матерії (речовини, фізичного поля й інформації), а також для задоволення фізичних, духовних і матеріальних потреб. **Матеріальні потреби** – це сукупність матеріальних благ, які мають матеріальну форму і виступають як головний спонукальний мотив трудової діяльності людини.

У концепції управління якістю, яка з’явилася на світ на початку 60-х рр. ХХ ст. розглядається система основоположних понять, які описують процеси, результатом яких формується якісна продукція. До них відносяться поняття “прогнозування”, “планування”, “аналіз”, “синтез”, “стандартизація”, “сертифікація” та ін. Проте центральним поняттям в управлінні якістю є **система контролю якості продукції**, суть якої полягає у виявленні дефектної продукції та вилучення її з виробничого процесу.

Термін **“дефект”** означає:

- недолік, внаслідок якого технічний об’єкт нездатний функціонувати;

- відхилення якості, форми або фактичних розмірів елементів та конструкцій від вимог нормативно-технічної чи проектної документації, яке виникає при проектуванні, виготовленні, транспортуванні та монтажі;
- будь-яка невідповідність технічного об'єкта встановленим для нього вимогам, стандартам;
- відхилення від передбаченого технічними умовами якості готового металовиробу або напівпродукту, яке частково або повністю порушує сукупність властивостей виробів даного виду (хімічний склад, структура, суцільність і т. ін.), якими визначається його споживча цінність.

Відповідно до Державного стандарту України ДСТУ 2925-94 **виробничий брак** – продукція, передавати яку споживачу не допускається через наявність дефектів. До браку можуть бути віднесені вироби, напівфабрикати, деталі тощо, що не відповідають за якістю, стандартами, технічними умовами та іншими нормами технічної документації.

Виробничий брак може виникати через такі основні причини:

- наявність прихованого дефекту в матеріалі, що обробляється;
- застосування матеріалів неналежної якості;
- помилок у технічній документації;
- порушення технологічних процесів;
- невідповідності кваліфікації та компетентності робітників тощо.

Виробничий брак призводить до зайвих витрат матеріалів, інструменту, електроенергії та палива, погіршує використання виробничих потужностей, порушує виробничий процес, зменшує кількість продукції, знижує продуктивність праці, підвищує собівартість продукції.

Потреби ринкової економіки вимагають постійне зростання вимог до якості продукції, переважна більшість якої є складна та характеризується великим числом характеристик, параметрів і показників. Зростання насичення ринку товарами і послугами, підсилення конкуренції визвало до життя поняття "**конкурентоспроможність**", під яким розуміється здатність продукції до здійснення:

- відповідності сформованим або передбачуваним вимогам ринку;
- успішної реалізації за наявності пропозицій інших аналогічних товарів.

Все це спонукає товаровиробника **забезпечувати якість**, тобто планувати та систематично виконувати дії, які створюють впевненість у тому, що якість продукції буде відповідати міжнародним або (і) національним стандартам.

Таким чином, основою конкурентоспроможності продукції є її **якість**, незмінність (стабільність) якої досягається шляхом впровадження на підприємствах, організаціях й установах **систем якості** та підтверджується сертифікацією продукції та систем якості. Зокрема, продукція (вироби або послуги) повинні підлягати **сертифікації**, тобто процедурі підтвердження відповідності продукції нормативним вимогам з отриманням **сертифікату відповідності**.

Приклад післявоєнного розвитку Японії показує, що випуск доброї продукції, забезпечення її конкурентоспроможності, а також забезпечення її безпеки та екологічної чистоти – це не просто часткова проблема для окремих виробників. Вирішення цієї проблеми неминує здійснює позитивний вплив на розвиток

економіки держави в цілому. Звідси впливає велика роль розвитку теорії та практики *управління якістю*, вдосконалення виробничого менеджменту.

Розвиток національної економіки не уможлиблюється без використання досягнень у сфері якості. Зокрема, вимагає широкого впровадження на практиці японських систем управління якістю, які зорієнтовані на запобігання можливості допущення дефектів. Це першим довів на практиці видатний японський інженер та підприємець Таїті Оно (1912-1990), який запропонував логістичну концепцію *Just-In-Time* (J I T) – “робити все вчасно”[191], яка реалізується на практиці в програмі “*П’ять нулів*” (нуль запасів, нуль відмов, нуль дефектів, нуль помилок, нуль втрат). Суть цієї програми зводиться до того, що кожний робітник *не повинен* робити наступне:

- 1) приймати дефектну продукцію з попередньої операції;
- 2) створювати умови для появи дефектів;
- 3) передавати дефектну продукцію на наступну операцію;
- 4) вносити зміни в технологію;
- 5) повторювати помилки.

Таким чином, однією з основних функцій управління якістю продукції є контроль якості на всіх етапах її створення та експлуатації. Це обумовлює вивчення конкретних методів й інструментів контролю якості, до яких входять статистичні методи.

Обмеженість обсягу книги призвела до того, що за межами змісту залишилися питання стандартизації, сертифікації та метрології в управлінні якістю.

Стандарти є нормативною базою управління якістю. Державні стандарти України (ДСТУ) з проблем управління якістю ґрунтуються на стандартах Міжнародної організації зі стандартизації (ISO), метою діяльності котрої є ратифікація розроблених спільними зусиллями делегатів від різних країн стандартів. Поява міжнародних стандартів на системи якості, – стандартів серії 9000, – стало подальшим розвитком теорії та практики сучасного менеджменту якості. Остання версія вказаних стандартів базується на принципах загального менеджменту якості (TQM) та принципах загального контролю якості (TQC). Якщо TQC розглядається як управління якістю з метою виконання встановлених вимог, то TQM – ще й управління цілями та самими вимогами.

Очевидно, що організація ефективного контролю якості потребує застосування різноманітних методів контролю, які базуються на врахуванні багаточисельних результатів вимірювань різних параметрів продукції. Оцінюванням та вимірюванням якості продукції та послуг займаються такі галузі науки, як кваліметрія та метрологія.

Перший розділ присвячений методології управління якістю, другий – характеристикам, показникам та рівням якості продукції, третій – методам прийняття рішень, четвертий – цілепокладанню, управлінню та керуванню в різноманітних системах, п’ятий – розвитку організаційних і технічних систем, шостий – концепціям управління якістю, сьомий – моделям, принципам, методам та системам управління якістю, восьмий – методам й інструментам контролю якості.

---

# Розділ 1. МЕТОДОЛОГІЯ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ

---



*“Якість ніколи не виникає випадково; вона завжди є результатом ясного наміру, щирого зусилля, розумного управління та кваліфікованого виконання; вона досягається мудрим вибором з багатьох альтернатив”*

Вілл Фостер

---

## 1.1. Термінологічний апарат

---

Предметна галузь (ПГ). Об’єкт ПГ. Сутність. Об’єкт. Онтологічний підхід. Модель онтології. Клас об’єктів. Властивості об’єктів. Атрибути і модуси. Техніка. Технічні об’єкти. Системологія та системотехніка. Антропогенні системи. Класи технічних об’єктів. Основні виробничі елементи техніки.

---

Навколишній світ – це сутності (будь-які відокремлені об’єкти) та відношення між ними. Фрагмент, який можна вичленувати з навколишнього світу, в теорії штучного інтелекту називається предметною галуззю [176].

**Предметна галузь (ПГ)** – сукупність матеріальних (реальних) об’єктів, які мають певні зв’язки та відношення між собою [123].

Цей фрагмент реальності в кваліметрії має назву “емпірична система з відношеннями” [189]. Прикладом ПГ може бути електроенергетична система, тобто взаємопов’язана сукупність електричних станцій, мереж і вузлів споживання.

Ми і подальшому будемо наводити безліч означень, або *дефініцій* (від лат. *definitio* – коротке наукове означення будь-якого поняття). Звернемо увагу на те, що термін “*визначення*” доречний, коли йдеться про здобування нових знань у процесі наукового пошуку, а “*означення*” – коли йдеться про пояснення, подання вже відомих знань. Наприклад, поняттю “сила” можна дати *означення*, тобто пояснити, що це таке, – а силу можна також *визначити*, тобто виміряти.

Якщо ж замість реальних об’єктів розглядати їх образи, тобто абстрактні (в граничному випадку – ідеальні) об’єкти, які описуються фактами, даними та знаннями, то розглядають поняття “**предметна область**” (ПО) [193].

**Сутність** (entity, essence) – це будь-який відокремлений об’єкт ПГ. Іншими словами, сутність є інформаційний прояв об’єкта в даному контексті (книжка є джерело знань – це перша сутність в контексті навчання; книжка є ефективний теплоізолятор – це друга сутність в контексті теплопровідності речей) і т. д. Під терміном “сутність” ще розуміють окремих елемент (річ, предмет, суб’єкт, явище, процес, подія, ситуація або поняття) системи (організації), який повинен бути поданий у базі даних. При цьому розрізняють поняття “**тип сутності**” (набір однорідних даних) і “**екземпляр сутності**” (кожний елемент набору однорідних даних). Наприклад, типом сутності може бути список студентів, кожний з яких буде його екземпляром (під терміном “екземпляр” розуміється один із досліджуваних об’єктів, які входять в певний клас об’єктів ПГ).

**Об’єкт** (object) – частина світу (предмет, явище, процес), яка виділяється дослідником як єдине ціле та має чітко окреслені границі, виразну поведінку протягом певного проміжку часу.

Об'єкт ПГ не обов'язково певний предмет. Це може бути речовина, явище, подія, ситуація, процес і т. ін. Під об'єктом розуміють також предмет або процес, які існують в реальній дійсності та на що спрямовується творча праця людини (об'єкт дослідження, промисловий об'єкт, процес навчання тощо).

Таким чином, *об'єкт* означимо як *фізичний або абстрактний елемент, який бере участь в якомусь явищі чи процесі*. Зокрема, студент розглядається як *об'єкт діяльності*, що приймає участь у процесі навчання. Разом з тим, студент розглядається також як *суб'єкт* – носій суб'єктивного.

Науковий аналіз об'єктів ПГ чи об'єктів ПО раціонально положити в канву *онтологічного підходу*, який забезпечує рух від аналізу *концепту* (від лат. *conceptus* – думка, зміст поняття) до аналізу зв'язків між поняттями, а потім до побудови *концептуальної схеми* (моделі, знакової системи), яка адекватно описує ПГ (чи ПО), яка досліджується.

*Онтологія* розглядається як *специфікація знань про навколишній світ*, яка покликана досліджувати структуру ПГ (ПО), специфічні особливості, набір вимог і параметрів об'єктів ПГ (ПО), а також структуру самих об'єктів. При цьому, поняття "*специфікація*" відображає складові частини об'єкта, їх специфічні особливості, набір вимог і параметрів об'єкта. Американський вчений в галузі штучного інтелекту Томас Груббер (Т.Р. Gruber) складне поняття "*специфікація концептуалізації*" визначив як *онтологію*, тобто як *специфікацію знань про навколишній світ* [226].

Формальна модель онтології містить кінцеву множину понять (**C**) предметної галузі, кінцеву множину відношень (**R**) між поняттями ПГ та кінцеву множину функцій інтерпретації (**F**), які задані на поняттях і / або на відношеннях онтології (**O**). Тобто *концептуалізацію* можна розуміти як побудову моделі ПГ та розв'язання теоретичної задачі або практичного завдання з нею пов'язаної.

**Модель** (*Model*) – це *цільовий образ об'єкта оригіналу, що відбиває найбільш важливі властивості для досягнення поставленої мети*.

Під *формальною моделлю онтології* будемо розуміти упорядковану трійку (кортеж), яка має вигляд [104]:

$$\mathbf{O} = \langle \mathbf{C}, \mathbf{R}, \mathbf{F} \rangle. \quad (1.1)$$

**ДВ** → *Формальні моделі* мають найбільш високий ступінь абстракції. До формальних моделей відносяться такі: морфологічна (зокрема, модель системи типу "чорний ящик"), функціональна, інформаційна. Формальні моделі використовуються як "шаблони", за допомогою яких дослідник приступає до побудови *змістових моделей* систем, тобто моделей, які наповнені змістовою сутністю із заданої предметної галузі.

Зазначимо, що термін "*формальна модель*" відрізняється від терміну "формалізація". Термін *формалізація* автор розуміє як процес перетворення вербального судження про об'єкт ПГ в логічне висловлювання у вигляді математичних формул, рівнянь й абстрактних структур, а також формул логіки висловлювань, побудованих на: одномісних і двомісних логічних операціях (заперечення, імплікація, реплікація, еквіваленція, кон'юнкція, диз'юнкція), логічних операторах, або кванторах (квантор загальності  $\forall$  та квантор існування  $\exists$ ), предикатах (одномісних і багатомісних). ◀

Множина об'єктів, пов'язаних спільністю структури, властивостей, поведінки, зв'язків і семантики – *клас*. Наприклад, електричні машини, або електромеханічні

перетворювачі енергії можна розділити на три класи: індуктивні, ємнісні та індуктивно-ємнісні. В індуктивних електричних машинах робочим полем, на якому відбувається перетворення енергії, є магнітне поле, в ємнісних – електричне поле, а в індуктивно-ємнісних – електромагнітне поле.

Клас має визначені **властивості**, деякі з яких можуть бути притаманні будь-якому об'єкту – **екземпляру** класу. Більш точно, властивості природних і штучних тіл поділяються на:

- **атрибути** (від лат. *attributum* – додавання) – невід'ємні, загальні для всіх екземплярів класу властивості або характеристики);
- **модуси** (від лат. *modus* – різновид) – властивості об'єкта ПГ, які притаманні йому лише в деяких станах.

Зазначимо, що в теорії баз даних до змісту поняття “**атрибут**” відноситься:

- характеристика об'єкта ПГ або ПО, його безпосередня складова;
- невід'ємна ознака, характерна риса;
- властивість, яка описує деякий аспект об'єкта ПГ або ПО;
- іменована характеристика або властивість типу;
- характеристика або властивість, загальна для всіх екземплярів класу;
- семантична властивість об'єкта, визначена в деякому середовищі (у певному баченні суб'єкта);
- поіменованій домен, стовпець в таблиці бази даних тощо.

**Технічні об'єкти** (*technical objectes*) – створені людиною або автоматом реально існуючі предмети, призначені для задоволення певних (визначених) потреб. Наприклад, електричні машини відносяться до технічних об'єктів.

Загалом, термін “**техніка**” походить від грецького слова “*techne*”, яке означає вміння, майстерність. Це підтверджує той факт, що технічні об'єкти – це реальні об'єкти, які штучно створені для виконання певних функцій, зокрема для здійснення процесу виробництва й обслуговування невиробничих потреб суспільства.

З точки зору системології (учення про системи) та системотехніки (теоретичної основи аналізу існуючих та проектування нових складних технічних систем) технічні об'єкти (ТО) являють собою відкриті та цілісні матеріальні системи, які займають проміжну позицію між двома саморозвиваючими системами – людським суспільством і природою, а саме є частинним випадком штучних, або **антропогенних** (від гр. *anthropos* – людина + *denos* – походження) систем. Зауважимо, що на даному етапі розвитку цивілізації ТО поки не можуть саморозвиватися. Зазначимо, що системотехніка своїм предметом дослідження має складні технічні та технологічні системи.

До ТО можна віднести окремі машини, апарати, прилади, ручні знаряддя праці, будинки, споруди, одяг і т. п. предмети, що виконують певну функцію (операцію) з перетворення речовини (живої та неживої природи), енергії або (і) інформаційних сигналів. До ТО будемо також відносити будь-який з елементів (агрегат, блок, вузол, деталь), із яких складаються машини, апарати, прилади тощо, а також будь-який з комплексів взаємопов'язаних машин, апаратів, приладів, обладнання, пристроїв тощо. Узагальнено це може бути технологічна лінія, цех, завод тощо.

Німецький вчений Рудольф Коллер (R. Koller) у 1975 р. запропонував всі ТО розділити на три **класи**, за наявністю в них основних потоків енергії, речовини або (і) інформації [229]:

- 1) **машини** – характеризуються потоками і перетворенням енергії;
- 2) **апарати** – характеризуються потоками і перетворенням речовин;
- 3) **прилади** – характеризуються потоками і переробкою інформації (сигналів).

Технічні об'єкти мають подвійну природу, як синтез природного та штучного. Їх штучність виражається у тому, що вони є продуктом творчої діяльності людини, відображаючи у собі цілі цієї діяльності. Для здійснення своїх цілей людина перетворює речовину, матеріали та тіла природи, надає їм визначену форму та властивості, які відповідають заданій функції. Межі “штучного” завжди визначаються “природним”, тобто властивостями тіл, фізичних полів, проявленням законів природи, які устанавлюються фундаментальними науками (зазначимо, що закони природи потенційно більш багатші ніж відкриті наукою закони).

Як зазначає Л.К. Гліненко, якщо будь-яка система має хоча б один штучний елемент, то вона відноситься до класу технічних [39].

Отже, до техніки відноситься сукупність механізмів, пристроїв, установок і машин, а також систем і засобів керування, добування, зберігання, перероблення, перетворення та передавання речовин, енергії й інформації. Це відповідає **основним виробничим елементам техніки**:

- 1) **матеріали** (на що діє техніка);
- 2) **енергія** (чим діє техніка);
- 3) **технологія** (як діє техніка).

---

## 1.2. Основні поняття системного підходу

---

Системологія і системний підхід. Поняття системи. Класифікація систем. Система і модель. Основні поняття системного підходу: підсистема, елемент, зв'язки і відношення в системі, структура системи, складність системи, організація системи. Формула Г. Ферстера. Організаційна система.

---

Формальний і змістовий аналіз об'єктів ПГ, як систем, лежить в основі **системних досліджень**. Зокрема, це проявляється при дослідженні якості виробів.

Вказані дослідження за основу беруть **системний підхід** (від англ. *systems approach*) – це методологічний напрямок у науці, завдання якого полягає в розробленні методів дослідження і проектування (конструювання) складно-організованих систем різних класів і типів. Цей науковий підхід слід розглядати як сукупність прийомів і принципів вивчення об'єктів дійсності, які розглядаються як системи.

Системний підхід базується на системному мисленні (*systems thinking*), яке полягає в дослідженні об'єктів ПГ, які розглядаються як цілісні утворення. В англійській літературі це поняття **холізму** (від англ. *holism* – цілий), яке передбачає, що система – це щось більше, ніж сума складових її частин.

В аспекті наукового дослідження технічні об'єкти розглядаються як системи. Існує безліч означень категорії “система” (від грец. *σύνθετα* – складений). Серед



них виділимо стандартизоване та адекватне суті означення:

- ❖ **Система** (*system*) – сукупність взаємопов'язаних або взаємодійних елементів [68];
- ❖ “**Система** є засіб досягнення мети” [162, с. 68].
- ❖ **Система S** – сукупність структурно взаємозв'язаних і функціонально взаємозалежних елементів, які знаходяться у зв'язках (відношеннях) між собою, утворюють певну цілісність (єдність) і призначених для досягнення визначеної мети в рамках певного часового інтервалу [119];
- ❖ **Система S** – сукупність взаємопов'язаних і взаємодійних сутностей (об'єктів) і зв'язків між ними, організованих певним чином в єдине ціле та протиставляється середовищу.

Всі системи раціонально розділити на три **класи**:

- 1) природні системи (живі, неживі, екологічні, соціальні і т. ін.);
- 2) штучні системи (знаряддя, механізми, машини, автомати, роботи, виробничі системи, системи штучного інтелекту і т. ін.);
- 3) змішані системи (ергономічні, біотехнічні, організаційні, автоматизовані і т. ін.).

Для будь-якої системи існує **надсистема**, роль якої може відігравати:

- a) інша система (технічна, виробнича, економічна, соціальна тощо), в якій ця система функціонально включається або входить як окремий елемент;
- b) зовнішнє середовище (повітря, вода, плазма тощо).

У науковій літературі [98; 187], розрізняють:

- 1) реальний об'єкт дослідження, тобто систему-оригінал  $S_0$  (наприклад, це така технічна система, як асинхронний електродвигун);
- 2) систему-модель S, або просто модель (прикладом може бути узагальнена математична модель вугільного комбайну).

Існує безліч означень категорії “модель”. На наш погляд, **модель** (від лат. *modulus* – міра, зразок) – це деякий об'єкт (реальний, знаковий, абстрактний або уявний), відмінний від об'єкта-оригіналу та який гомоморфно відтворює його склад, структуру, властивості, ознаки, параметри та характеристики в межах розв'язуваних теоретичних задач чи практичних завдань.

Модель може бути матеріальною (подана як макетна конструкція виробу) або абстрактною (вербальний опис, схема, креслення, графік, формула, математичне рівняння, логічний вираз, алгоритм, програмний продукт і т. ін.).

Таким чином, модель виступає як своєрідний інструмент для пізнання, який дослідник ставить між собою і об'єктом, і за допомогою якого вивчає об'єкт ПГ, що його цікавить.

П→ Уявлення про систему, як модель реального об'єкта, вперше запропоноване американським вченим Дж. Кліром [98] і підтримано рядом дослідників, зокрема російським дослідником Б.Я. Советовим [187]. Відповідно до підходу Дж. Кліра, система як об'єкт дослідження є, з одного боку, множиною властивостей, із кожною з яких пов'язана множина його проявів, а з іншого боку – множиною базисів, із кожним з яких пов'язана множина її елементів. Звідси, система досліджуваного об'єкта формально може бути представлена у вигляді математичної моделі:

$$M_0 = \{ (a_i, A_i) \mid i \in N_n, (b_j, B_j) \mid j \in N_m \}, \quad (1.2)$$

де  $N_n = \overline{1, n}$ ;  $N_m = \overline{1, m}$ ;  $a_i \in A_i$  –  $i$ -та властивість та множина її проявів відповідно;  $b_j \in B_j$  –  $j$ -й базис та множина елементів;  $M_0$  – модель досліджуваного системного об'єкта, яка не враховує ієрархічну структуру цілей і задач управління (керування) об'єктом.

У загальному випадку реальний об'єкт ПГ можна розглядати як систему-оригінал  $S_0$ . На основі цієї системи будується модель об'єкта ПГ першого порядку  $S_1$ , потім модель другого порядку  $S_2$  і т. д. Наприклад, якщо перша модель є вербальна (від. лат. *verbalis* – словесний), то друга – математична. ◀

Важливою особливістю системи є її **склад**, тобто певний набір компонентів (частин) – підсистем й елементів.

**Компонент системи** (*component of system*) – множина відносно однорідних елементів, які об'єднані загальними функціями при забезпеченні виконання загальних цілей функціонування та розвитку системи.

Синонімом слова “компонент” служить слово “**підсистема**”. Наприклад, асинхронний двигун складається з закінчених частин, які називаються “підсистемами”, зокрема, це статор і ротор.

**Елемент** (*element*) – умовно неподільна частина цілого, яка виконує роль елементарного носія якості системи. Внутрішня будова елементів не цікавить дослідника. Елементом можна вважати болт з гайкою для кріплення виводу обмотки електродвигуна. У загальному випадку елементом може бути частина деталі, деталь, вузол, блок, агрегат, технічна система, комплекс технічних систем.

**Зв'язки в системі** (*communications system*) – це те, що об'єднує елементи системи в єдине ціле, накладаючи взаємні обмеження на їх поведінку (зміну, рух). Зв'язки обмежують ступені свободи елементів системи. За рахунок наявності в системі зв'язків між елементами (взаємозв'язків) є взаємодія та взаємозалежності.

**Відношення в системі** (*related system*) – це відображення зв'язків в абстрактній формі. Відображення може бути ізоморфним (взаємно однозначна відповідність й еквівалентність зв'язків та їх моделі), гомоморфним (приблизне або модифіковане відображення в моделі зв'язків), поліморфним (різноманітні форми моделей зв'язків).

Якщо реальний зв'язок “фізично наповнений”, то відношення є “фізично ненаповненим зв'язком”, який подається в абстрактній формі.

Відношення можна подати (зобразити, представити) за допомогою фактор-множини, матриці, орієнтованого графу, семантичної мережі тощо.

П→ Нехай  $X$  – деяка множина, властивість якої виражається одномісним предикатом  $P(x)$ , тобто висловлюваною функцією типу “ $x$  має властивість  $P$ ”. Іншими словами, властивість множини полягає в тому, що вона відображає елементи  $e_i \in E$ ,  $i = \overline{1, n}$  деякої системи  $S$ . Тоді властивості вказаних елементів системи можна записати у вигляді множини  $A$ :

$$A = \{ x \in X \mid P(x) \}, \quad \varphi: E \rightarrow X, \quad E \subseteq S \quad (1.3)$$

де знак  $\rightarrow$  означає відображення множини  $E$  в множину  $X$ .

Нехай змінна  $x$  набуває певних конкретних значень  $a_1, a_2, \dots, a_n$ , тоді в термінах формальної логіки множина  $X$  стане множиною індивідів  $X(a_i), i = \overline{1, n}$ . Звідси множина  $B$  задає відношення  $R(a_i, a_j)$  між індивідами  $a_i$  і  $a_j$ , а саме:

$$B = \{ a_i \in X, a_j \in X, i \neq j \mid R(a_i, a_j) \}. \quad (1.4)$$

Таким чином, бінарний, або двомісний предикат  $R(a_i, a_j)$ , або висловлювана функція двох змінних {"x знаходиться у відношенні R з y" –  $R(x, y)$ } формалізує відношення між елементами (екземплярами сутності)  $a_i, i = \overline{1, n}$  системи S. ◀

Для складних систем розрізняють безліч **типів зв'язків**.

Наведемо декілька найбільш поширених зв'язків:

- інформаційні, енергетичні та речовинні;
- зв'язки породження (генетичні), будови, взаємодії (координації);
- зв'язки функціонування, які встановлюють взаємообумовленість функцій одного об'єкта ПГ від реалізації функцій другого об'єкта;
- зв'язки, які визначають тип процесу – зв'язки управління (зв'язки керування – для технічних систем), зв'язки функціонування та розвитку;
- за напрямом передавальних дій – прямі та зворотні, зокрема позитивні та негативні зворотні зв'язки;
- за характером дії – жорсткі та гнучкі;
- за формами детермінізму – однозначні, багатозначні, строго визначені, кореляційні, імовірнісні, нечіткі;
- *системоутворюючі зв'язки*, тобто такі, що породжують остов ("скелет") системи, її основу.

**Структура системи** (*system structure*) – сукупність стійких зв'язків об'єкта ПГ, які забезпечують його цілісність і тотожність самому собі, тобто збереження основних властивостей при різних зовнішніх і внутрішніх змінах.

Зауважимо, що термін "сукупність" означає "...з'єднання або набір частин в єдину множину або суму безвідносно форми або порядку" [128, с. 440].

Іншими словами, **структура системи** – фіксована сукупність елементів, стійких зв'язків (відношень) між ними, які забезпечують цілісність системи в процесі її функціонування.

Структура визначає **морфологію** (від грец. *μορφή* – "форма" і *λόγος* – вчення) системи, тобто її будову, конструкцію та **форму** (конфігурацію).

До основних властивостей структури відносяться цілісність, стійкість, адаптивність. Наявність структури є невід'ємною ознакою системи.

П→ Нехай E – множина елементів системи (вершин мультиграфа, тобто графа без петель, але з кратними ребрами [182]), O – множина параметрів (options) елементів, C – множина зв'язків (communication) між елементами, R – відношення (relation) інцидентності, яке ставить у відповідність кожному ребру пару вершин мультиграфа. Тоді структура (structure) системи S розглядається як мультиграф з певними вершинами [124]:

$$STR = \langle E, O, C, R \rangle. \blacktriangleleft \quad (1.5)$$

**Складність системи** (*complexity of the system*) – властивість, яка визначається не тільки будовою (і, можливо, масштабом) системи, а й різноманітністю елементів, неоднорідністю їх властивостей і неоднаковою якістю прямих і зворотних зв'язків.

Прикладами складних систем може бути мозок людини, електроенергетична система країни, велике промислове підприємство, архітектура системи команд електронно-обчислювальної машини (ЕОМ) тощо.

Очевидно, що термін “складність” означає наявність великої кількості взаємозв’язаних частин, структур або елементів, що спричиняє непередбачувану, несподівану та випадкову поведінку системи (зокрема, це поведінка динамічної системи з нечіткими параметрами, в моделі якої не вистачає інформації для ефективного управління або керування).

Термін “організація” вживається в двох значеннях у залежності від контексту:

**1. Організація системи** (*organization of the system*) – внутрішня упорядкованість, узгодженість та взаємодія компонентів системи (підсистем, елементів), що спричиняє сукупність процесів або дій, які ведуть до утворення та вдосконалення взаємозв’язків між частинами цілого.

Організація – загальносистемна властивість. Вона виражається у взаємозалежній поведінці елементів системи в рамках цілого та в обмеженні різноманітності цієї поведінки.

Організація охоплює тільки такі властивості елементів, які зв’язані з процесами функціонування та збереження цілісності, тобто існування системи. Вказана властивість залежить від **величини системи** (*value system*), яка характеризується числом елементів і числом зв’язків між ними.

Для того, щоб порівняти різні системи за ступенем організації необхідно перейти до формули підрахунку **відносної організації системи**  $\mathfrak{R}_{\text{відн.}}$ , яка введена німецьким кібернетиком Г. Ферстером [198]:

$$\mathfrak{R}_{\text{відн.}} = 1 - H / H_{\text{max}}, \quad (1.6)$$

де  $H$  – наявна ентропія системи,  $H_{\text{max}}$  – максимальна ентропія системи.

Очевидно, що  $\mathfrak{R}_{\text{відн.}}$  характеризує ступінь (міру) організованості й упорядкованості системи, тобто міру її **структурної організації**. З другого боку,  $\mathfrak{R}_{\text{відн.}}$  є відображення обмежень, які накладаються структурою на множину можливих станів елементів системи (обмеження положення, руху, поведінки та ін.).

**2. Організація** (*organization*), **або організаційна система** – сукупність людей та засобів виробництва з упорядкованим розподілом відповідальності, повноважень та взаємовідносин (ДСТУ ISO 9000-2015).

Конкретно, організація – це компанія, корпорація, фірма, підприємство, добродійна організація, індивідуальний торговець, асоціація, орган влади або установа (заклад), її / його частина або їх об’єднання, державна, акціонерна, громадська або приватна, яка має власні функції й адміністрацію.

Коротко розглянемо основні властивості будь-якого об’єкта ПГ, які підкреслюють те, що цей об’єкт відноситься до класу системних об’єктів. Розглянуті нижче сім властивостей відіграють роль **системних інваріантів**, тобто властивостей (ознак), які є незмінні в різних реальних складних об’єктах природи, техніки та суспільної сфери:

- 1. Структурність (структурованість)** – наявність елементів й істотних, стійких зв’язків (відношень) між елементами або (і) їх властивостями. Іншими словами, структурність означає стійку сукупність взаємодій (відношень) між елементами.
- 2. Ієрархічність** – наявність багаторівневої структури, тобто наявність всередині системи ієрархічних рівнів (*рівнів абстрагування*), компоненти якої є

підсистеми й елементи. Особливість ієрархії в наявності підпорядкування, тобто нерівноправних зв'язків між підсистемами, а також між елементами різних підсистем, які знаходяться на різних рівнях. Рівень (якісний) – ступінь значущості, величини (масштабу), розвитку будь-чого тощо.

3. **Цілісність** – властивості системи залежать від властивостей складових її компонентів (підсистем, елементів), проте системі притаманні інтегративні якості, які не властиві компонентам. З іншого боку, цілісність – підпорядкованість функціонування (дій) всіх компонентів системи (підсистем і елементів) одній меті (призначенню системи). Існування інтегративних якостей системи, відмінних від властивостей складових елементів, що визначає внутрішню цілісність системи, називається емерджентністю (від англ. *emerge* – раптове виникнення).
4. **Замкнутість** – наявність межі між системою та зовнішнім середовищем, відокремленість від навколишнього середовища певною поверхнею в просторі. Замкнутість не заперечує наявності зв'язків зі зовнішнім середовищем.
5. **Динамічність** – функціонування системи в часі, а також зміна в часі складу, структури, властивостей і функцій системи.
6. **Відкритість**. Реально всі системи є відкритими, тобто в процесі свого функціонування на протязі життєвого циклу вони обмінюються зі зовнішнім середовищем речовиною, енергією й інформацією. Ця властивість системи взаємодіяти зі зовнішнім середовищем дозволяє розглядати **вхідні параметри** (сигнали, збурення) – дії середовища на систему, і **вихідні параметри** – дії системи на середовище. Тобто, система виступає як перетворювач вхідних дій у вихідні.
7. **Наявність певної організації**, яка розуміється по різному, а саме як:
  - структурно-функціональний стан системи;
  - внутрішня упорядкованість, узгодженість, взаємодія більш або менш диференційованих й автономних частин цілого, що обумовлено його будовою;
  - сукупність процесів або дій, які ведуть до утворення і вдосконалення взаємозв'язків між частинами цілого;
  - група людей, діяльність яких свідомо координується для досягнення поставленої мети.

**ДВ**→ Зазначимо, що в класичній фізиці розглядаються моделі, які являють собою закриті (ізолювані) системи, що не обмінюються зі зовнішнім середовищем речовиною, енергією й інформацією. Для ізолюваних систем виконується другий закон термодинаміки, який проявляється у вигляді зростання ентропії. Поняття закритих і відкритих систем увів австрійський вчений Людвіг фон Бергаланфі в роботі “Загальна теорія систем” [18]. ◀

Підводячи підсумок про поняття “система”, наведемо умовивід Б.С. Флейшмана [200].

**Система** є таким об'єктом, який характеризується, принаймні, чотирма атрибутами: 1) *цілісність і розчленованість*; 2) *наявність істотних відношень між елементами або (і) між їх властивостями*; 3) *наявність певної структури й організації*; 4) *існування інтегративних якостей*.

### 1.3. Аналіз технічних об'єктів як систем

Технічна система (ТС). Складна ТС. Принципи складних систем. Уявлення про складну ТС. Аспекти опису і форми прояву ТС. Параметри та показники ТС. Концепція О.І. Половінкіна. Призначення і мета створення ТС. Потреба або функція технічного об'єкта. Функції системи. Технічна функція та її види. Функціонування ТС. Мета функціонування ТС. Класифікація функцій ТС. Стан системи. Поведінка системи. Подія. Ступінь можливості виникнення події. Наслідок. Процесний підхід. Процеси в ТС. Поточкові зв'язки. Багатозначність терміна “потік”. Види потоків. Операції Р. Коллера. Конструктивна і потокова функціональні структури. Фізичний принцип дії. Спосіб дії. Режими функціонування ТС. Технічне рішення.

Розглядаючи як синонім поняття “технічний об'єкт” (ТО) поняття “**технічна система**” (ТС) українські вчені М.З. Згуровський і Н.Д. Панкратова сформулювали такі означення [83, с. 69-70]:

- ❖ **Технічна система** (*technical system*) – матеріальний цілісний об'єкт, призначений для виконання певної функції у заданих умовах, технічно реалізований на основі впорядкованої за номенклатурою, скінченної множини функціонально взаємозалежних, структурно взаємопов'язаних функціональних елементів, які технологічно взаємодіють (підкреслено мною. – МК).
- ❖ **Складна технічна система** (СТС, *complex technical system*) – матеріальний цілісний об'єкт, призначений для виконання скінченної множини функцій у заданих умовах, технічно реалізований на основі впорядкованої за номенклатурою, скінченної множини функціонально взаємозалежних, структурно взаємопов'язаних функціональних технічних систем, які технологічно взаємодіють (підкреслено мною. – МК).

ДВ➔ Л.К. Гліненко і В.В. Дружинин виділяють принципи, які визначають СТС [39; 55]:

1. **Принцип фізичності** – будь-якій СТС притаманні фізичні закономірності, які повністю визначають внутрішні каузальні (причинно-наслідкові) зв'язки, а також існування та функціонування системи. Цей принцип містить два постулати (від лат. *postulare* – просити, вимагати), тобто тверджень, які приймаються без доведення істинності:
  - а) **постулат цілісності**: система не тотожна жодному зі своїх елементів;
  - б) **постулат автономності**: системи мають автономну просторово-часову метрику (групу перетворень) і внутрішні системні закони збереження, які визначаються фізичним змістом і будовою системи, і не залежать від зовнішнього середовища.
2. **Принцип цілеспрямованості** – функціональна тенденція системи на досягнення певного стану чи підсилення (послаблення) певного процесу, протидія впливам зовнішнього середовища. Цей принцип визначає **постулат вибору**: СТС здатні вибирати поведінку, тобто реакцію системи на зовнішні впливи, залежно від внутрішніх критеріїв вибору.
3. **Принцип модельованості** – СТС може бути представлена множиною моделей, кожна з яких відбиває певний бік її сутності та відповідно певні групи властивостей. Цей принцип містить три постулати:
  - а) **постулат додатковості**: СТС в різних середовищах (обставинах, ситуаціях) можуть проявляти різні, зокрема альтернативні, системні властивості;
  - б) **постулат дії**: реакція СТС на зовнішні дії має пороговий характер, де поріг виступає функцією кількості речовини, енергії, інформації. При цьому, **стабільність системи** (в сенсі порогу чутливості на зовнішні впливи) збільшується тільки до певної межі в міру зростання складності системи;

в) **постулат невизначеності**: максимальна точність визначення (вимірювання) властивостей СТС залежить від притаманного цій системі інтервалу невизначеності. У межах цього інтервалу збільшення точності визначення однієї властивості буде тягнути за собою обов'язкове зменшення точності визначення іншої властивості.

Від себе добавимо, що постулат невизначеності має аналог фундаментальному постулату квантової механіки, встановленому видатним німецьким фізиком-теоретиком Вернером Гейзенбергом (1901-1976), та який отримав назву "**принцип невизначеності Гейзенберга**". Розглядаючи величину середньоквадратичного відхилення координати  $\Delta x$  і середнє відхилення  $\Delta p$  імпульсу  $p$  частинки, Гейзенберг встановив, що  $\Delta x \cdot \Delta p \geq \hbar / 2$ , де  $\hbar$  – приведена постійна Планка., яка дорівнює  $\hbar = h / 2\pi \cong 1,054 \cdot 10^{-34}$  Дж · с. ◀

Для складної технічної системи можна виділити три основні уявлення [49]:

- 1) **функціональне уявлення**, або уявлення про функції системи (**Ф**-уявлення);
- 2) **морфологічне уявлення**, або уявлення про будову системи (**М**-уявлення);
- 3) **процесне уявлення**, або уявлення про процеси, які відбуваються в даній системі (**П**-уявлення).

Частинними випадками останнього, тобто процесного уявлення, є **технологічне уявлення** (**Т**-уявлення) та **уявлення розвитку** системи (**Р**-уявлення).

Вказаним уявленням у теорії проектування відповідає ряд аспектів опису [155]:

- функціональний аспект;
- конструкторський аспект;
- технологічний аспект.

Вказані вище уявлення мають два типи форм прояву:

- а) вербальна форма (на природній мові моделювання чи проектування);
- б) абстрактна форма (форма математичних моделей, графів, семантичних мереж, фреймів, продукційних правил тощо).

Термін "**параметр**" (*parameter*) означає ознаку виробу, яка кількісно характеризує будь-які її властивості або стани. Наприклад, до параметрів електродвигуна відносяться геометричні розміри, споживана потужність, частота обертання ротора, характеристики вхідного енергетичного потоку (напруженість електричного поля, напруга, сила струму, частота струму).

Розрізняють внутрішні параметри  $x_1, x_2, \dots, x_n$  системи, які задаються вектором  $\mathbf{X} = (x_1, x_2, \dots, x_n)$  і вихідні параметри  $y_1, y_2, \dots, y_k$ , які характеризують дію системи на зовнішнє середовище, вектор  $\mathbf{Y} = (y_1, y_2, \dots, y_k)$ .

Наступний термін "**показник**" (*indicator, index*) раціонально розглядати під кутом зору **кваліметрії** (від лат. *qualis* – якість + гр. *μετρέω* – вимірюю) – галузі науки, яка узагальнює існуючі теорії вимірювання та оцінювання якості в різних сферах знань.

Якщо  $v_1, v_2, \dots, v_k$  – параметри системи (процесу), то **показник**  $v$  є функцією від параметрів, тобто має місце залежність:

$$v = v(v_1, v_2, \dots, v_k). \quad (1.7)$$

У даному випадку, "**показник**" – кількісна характеристика будь-якої властивості системи або цілеспрямованого процесу, яка є результатом оцінювання, вимірювання або розрахунку. Зауважимо, що роль показника може

відігравати певний **фактор** (від лат. *facere* – “діяти”, “виробляти”, “примножувати”) – об’єктивна умова, рушійна сила будь-якого процесу, явища. Синонімом поняття “фактор” є поняття “**чинник**”, яке ми будемо застосовувати за обставин діяльності людини, а значить, як результат наявності суб’єктивних моментів, тобто так званого “людського чинника”.

Ієрархію опису технічних об’єктів системно і поглиблено відтворив у 80-х рр. ХХ ст. російський вчений О.І. Половінкін [165]. За його концепцією, кожний ТО може бути представлений описами, які мають ієрархічну підпорядкованість, а саме кожний подальший опис включає в собі попередній і більш детальний (у подробицях) та повно характеризує об’єкт.

Вказані описи нами розглядаються як лінійний або розгалужений ланцюг, елементи якого опосередковані математичним знаком імплікації ( $\Rightarrow$ ), який означає “якщо ..., то”. У результаті отримуємо **інформаційний модуль** (ІМ) – узагальнююча модель зображення знань, концепт (від лат. *conceptus* – думка) у формі синтаксично і семантично завершеного інформаційного об’єкта (одиниці), який характеризується цілісністю змісту та структури:

**Потреба, або функція ТО  $\Rightarrow$  Технічна функція (ТФ)  $\Rightarrow$  Функціональна структура (ФС)  
 $\Rightarrow$  Фізичний принцип дії (ФПД)  $\Rightarrow$  Технічне рішення (ТР)  $\Rightarrow$  Проект**

Розкриємо сутність понять, які подані у ІМ.

**Потреба** (*requirement*), або **функція технічного об’єкта** – це призначення ТО або мета його створення (існування).

**Призначення системи** (*appointment system*) – декларована здатність системи реалізовувати на практиці функції, які забезпечують досягнення визначеної мети. Очевидно, що призначення визначає головну функцію технічної системи.

Призначення системи може бути можливе чи плановане. Призначення системи забезпечує можливість її використання як засобу досягнення мети. При цьому розрізняють поняття мети: об’єктивної та суб’єктивної.

Під “**об’єктивною метою**” (*objective purpose*) будемо розуміти сукупність результатів, які визначаються призначенням системи, або майбутній реальний стан системи.

**Суб’єктивна мета** (*subjective purpose*) – ідеальний образ бажаного майбутнього.

Уведемо позначення: D – вказівки дій та самі дії (операції), які виконує даний ТО, що спричиняють бажаний результат, тобто задоволення (реалізацію) потреби особи, фірми, підприємства, організації, установи тощо; G – вказівка на об’єкт, або предмет праці (обробки), на яке спрямовані дії D; C – зазначення особливих умов і обмежень, за яких виконуються дії D. Тоді формалізацію **потреби** (P) можна подати у вигляді триплету:

$$P = \langle D, G, C \rangle. \quad (1.8)$$



Поняття потреби завжди пов'язано з людиною (колективом людей, соціумом) або автоматом (сукупністю автоматів), яка (які) або якому (яким) поставила (поставили) або поставили завдання реалізації потреби (і, можливо, які виконують проектування відповідного ТО та його виготовлення).

На відміну від конкретної потреби, поняття функції завжди пов'язано з ТО, яка реалізує цю потребу.

**Функції системи** (*system functions*) – дії системи, які виражаються у зміні можливих її станів і спричиняє досягнення визначених цілей (призначення системи).

Іншими словами, функція – це роль, яку виконує система чи її певні компоненти (підсистеми) для досягнення поставлених перед системою цілей (призначень системи).

Функція відображає властивість системи, яка спричиняє досягнення мети. Кожну функцію визначають цілі (потреби) і властивості об'єкта ПГ. Причому, кожний об'єкт ПГ можна розглядати як носій певних функцій.

**Технічна функція (ТФ)** – це поняття  $F$ , яке складається з двох частин: задоволена потреба  $P$  і фізична операція  $Q$ , а саме :

$$F = \langle P, Q \rangle \quad (1.9)$$

Нехай  $x_i \in X$ ,  $i \in \overline{1, n}$  – це змінні, що визначають функцію детермінованої системи. Тоді для кожного елемента системи встановлюють строго визначену залежність вихідних змінних від вхідних, а це означає, що множина функцій  $\Phi$  залежить від множини змінних  $X$ , тобто

$$\Phi = f(X), \quad (1.10)$$

де  $f$  – символ функції.

**Функціонування** (*functioning, operation*) – реалізація (виконання) системою своїх функцій (прояв функцій у часі), тобто отримання результатів, які передбачені призначенням системи.

**Мета функціонування** технічної системи – кінцевий конкретний стан або результат, який намагаються досягти.

Синонімами слова “**функціонування**” є такі: *працювати, здійснювати роботу (робити), здійснювати функцію або функції, бути в дії, діяти, чинити* тощо.

У функціонально-вартісному аналізі функції ТС поділяються на такі види [41]:

- 1) **головну** функцію, що відповідає меті (призначенню) системи;
- 2) **основні (базові)** функції, які відображають орієнтацію системи;
- 3) **допоміжні** (сервісні) функції ;
- 4) **непотрібні** (некорисні) функції;
- 5) **шкідливі** функції.

Зазначимо, що в термінології охорони праці розрізняють словосполучення “шкідливий виробничий фактор” і “небезпечний виробничий фактор” [114]. Тому належить доповнити вище розглянутий перелік пунктом б) **небезпечні** функції.

Розглядається ще одна, відносно більш широка класифікація функцій

об'єктів ПГ. Із множини функцій раціонально виділити такі загальні функції [41]:

- 1) за відношенням до призначення об'єкта – головна функція та другорядні функції, основні та допоміжні функції;
- 2) за відношенням до споживача – корисні, некорисні та шкідливі функції;
- 3) за характером прояву – дійсні та потенційно можливі функції;
- 4) за характером виникнення – первинні та похідні функції;
- 5) за ступенем здійснення намірів – номінальні та реальні функції.

Будь-який об'єкт ПГ, як система, має стан, поведінку (функціональність, зовнішній прояв діяльності) й індивідуальність.

**Стан системи** (*system condition*) – характеристика системи на даний момент часу її функціонування.

Стан системи визначається поточними значеннями параметрів і змінних стану. Зокрема, в розгалуженому електричному колі до **змінних стану** відноситься мінімальна сукупність електричних струмів  $i_k(t), k = \overline{1, n}$  та електричних напруг  $u_s(t), s = \overline{1, m}$  в ланцюгах електричного кола, початкові значення яких  $i_k(0), k = \overline{1, n}$ ,  $u_s(0), s = \overline{1, m}$  повністю визначають енергетичний стан і перехідний процес в електричному колі при заданих вхідних впливах  $U(t)$ . Значення початкового стану необхідно для аналізу та прогнозу поведінки детермінованої системи (це значення залежить від її властивостей і зв'язків з іншими системами).

**Поведінка системи** (*system behavior*) – спосіб реалізації головної функції.

Іншими словами, поведінка системи є розгорнута в часі послідовність реакцій системи на зовнішні дії. Наявність складних перехресних взаємозв'язків між параметрами системи, внаслідок чого зміна одного параметра викликає зміну іншого спричиняє до того, що можна говорити про **складність поведінки системи**.

Як ми покажемо далі, поведінка складних технічних систем може бути детермінованою, стохастичною і нечіткою.

Поведінка відносно простої технічної чи економічної системи описується математичною моделлю виду:

$$Y = F(X, G, Q), \quad (1.11)$$

де  $F$  – оператор, тобто закон відповідності внутрішніх ( $x_1, x_2, \dots, x_n$ ), збурювальних ( $g_1, g_2, \dots, g_r$ ) і керуючих ( $q_1, q_2, \dots, q_m$ ) параметрів параметрам виходу ( $y_1, y_2, \dots, y_k$ ) системи, де  $X, G, Q, Y$  – це вектори названих відповідних параметрів:  $X(x_1, x_2, \dots, x_n)$ ,  $G(g_1, g_2, \dots, g_r)$ ,  $Q(q_1, q_2, \dots, q_m)$ ,  $Y(y_1, y_2, \dots, y_k)$ .

Розглянемо ще декілька базових понять.

**Подія** (*occurent*) – зміна властивостей об'єкта ПГ, взаємодія між об'єктами, утворення нового об'єкта або знищення існуючого об'єкта. Вказане розглядається в координатах визначеного простору та часу. Під “подією” ще розуміється виникнення чи зміна певних збігів **обставин** [105].

Події можуть бути прості або складні, з наслідками (наприклад, нещасні випадки) або без наслідків (наприклад, інциденти, промахи, загрози, небезпечний стан).

**Ступінь можливості** (*likelihood*) **виникнення події** визначається математичною ймовірністю  $p$ , значення якої належить континууму  $[0, 1]$ , де число 0 виражає неможливість певної події, а число 1 – абсолютну вірогідність

(достовірність) події. **Наслідок** – результат події, яка впливає на результат діяльності.

Як вказано в теорії технічних систем [42], належить розрізняти два типи систем:

- 1) технічна система (ТС), яка функціонує;
- 2) система типу “**процес**” (лат. *processus* – протягом, хід, просування, рух вперед) – тобто система, яка бере участь у процесах прийняття рішення.

**Процеси в технічній системі** (*processes running in the technical system*) – це послідовні зміни станів системи або сукупність послідовних дій для досягнення визначених результатів.

**Процесний підхід** у технічних системах має справу з керуванням з боку керуючої (автоматичної) системи і з поточними зв’язками.

**Потокові зв’язки** (*stream connection*) – це елементи, які реалізують певні фізичні операції та утворюють потік речовини, енергії, сигналів, які проходять перетворення.

Зазначимо, що в теорії інформації та зв’язку **сигнал** – це носій інформації, що використовується для передачі повідомлень в системі зв’язку.

Усі **функції системи** виконуються при наявності (за допомогою) **потоків**.

**Потік** (stream, flow) – це поняття, яке має такі змісти:

- ❖ Неперервний рух маси чи великої кількості чого-небудь або кого-небудь, що характеризується напрямом у кожній своїй точці (потік рідини, світловий потік, людський потік і т. ін.).
- ❖ Вид організації руху предметів обробки із безперервним послідовним виконанням операцій у виробництві (поточковий метод, поточе виробництво).
- ❖ Об’єднання академічних груп студентів для організації навчального процесу (читання лекцій, приймання екзаменів тощо).

Розрізняють такі види потоків: матеріальні, енергетичні, інформаційні, фінансові, людські та ін.

Позначимо буквою  $Q$  фізичну операцію. Звідси, **фізична операція** (**ФО**, *physical operation*) – фізичне перетворення заданого вхідного потоку  $\Pi_{\text{вх.}}$ , або фактора, у вихідний потік  $\Pi_{\text{вих.}}$  (фактор). Посередником цього перетворення є операція  $P$ . Коллера [229], яка позначається буквою  $E$  [P. Коллер – німецький вчений, автор методу пошукового конструювання ТС, 1975р.].

Якщо **вхідний потік**  $\Pi_{\text{вх.}}$  відповідає на запитання “*що?*”, **вихідний потік**  $\Pi_{\text{вих.}}$  – “*в що?*”, то операція  $P$ . Коллера  $E$  відповідає на запитання “*як?*”. Опис фізичної операції формалізовано можна подати за допомогою знаку імплікації  $\Rightarrow$  (“якщо ..., то”) таким чином:

$$Q = (\Pi_{\text{вх.}} \Rightarrow E \Rightarrow \Pi_{\text{вих.}}). \quad (1.12)$$

У табл. 1.1. наведемо декілька прикладів опису фізичних операцій  $P$ . Коллера.

Потоки в системі пов’язані зі структурою, яка виконує роль обмежень на потоки в просторі та в часі. О.І.

Половінкін розрізняє **функціональні структури** (**ФС**, *functional design*) технічних об’єктів двох видів [165]:

1. **Конструктивна  $\Phi C$**  – орієнтований граф, вершини якого є найменування елементів, а дуги – функції елементів.
2. **Потокова  $\Phi C$**  – граф, вершини якого є найменування елементів ТС або найменування операцій Р. Коллера (випромінювання-поглинання, провідність-ізолювання, збір-розсіювання, перетворення, збільшення-зменшення тощо), а дугами – вхідні та вихідні потоки.

Функціональний аспект опису ТС пов'язаний з відображенням принципів її функціонування і способів дії, характеру фізичних й інформаційних процесів, які протікають в системі, і знаходять відображення в принципіальних, структурних, функціональних і кінематичних схемах та супровідних документах.

Таблиця 1.1

Опис фізичних операцій за допомогою операції Р. Коллера

Найменування ТО	Вхідний потік $P_{вх}$	Операція Е Р. Коллера	Вихідний потік $P_{вих}$
Електроплита	Електричний струм	Перетворення енергії	Тепло
Світильник	Електричний струм	Перетворення енергії	Світловий потік, тепло
Вантажний автомобіль	Паливо	Перетворення речовини	Рух, тепло
Електронний випрямляч	Змінний електричний струм	Коливання – вирівнювання	Постійний електричний струм
Електронний підсилювач	Змінний електричний сигнал	Збільшення – зменшення	Змінний електричний сигнал
Дзеркало	Світловий потік	Зміна напрямку – зміна напрямку	Світловий потік
Рефлектор	Потік електромагнітних хвиль	Збір – розсіювання	Потік електромагнітних хвиль
Вимикач	Електричний струм	Зв'язок – переривання	Відсутність електричного струму

При аналізі функціональних і поточкових зв'язків, які існують при роботі машини, треба побудувати орієнтовані графи, які зображають конструктивну та потокову функціональні структури. При цьому, *функціональна (логічна) структура відображає функціональні зв'язки між об'єктами, а потокова (прагматична) структура – потокові зв'язки.*

Розглянемо приклади реалізації конструктивної та потокової функціональних структур при роботі побутової електроплитки.

**Конструктивна  $\Phi C$**  являє собою орієнтований граф, вершини якого є найменування елементів, а дуги (направлені ребра) – функції елементів. Дуги виходять із вершин-елементів, чії функції вони описують, а закінчуються у вершинах-елементах, функціонування яких вони забезпечують, або у вершинах-об'єктах зовнішнього середовища, що взаємодіють з певним елементом. Із кожної вершини-елемента виходить стільки дуг, скільки функцій має елемент.

**Пр.1.** → Розглянемо конструктивну  $\Phi C$  електричної частини електроплитки (рис. 1.1).

**SE** → Електромережа  $V_1$  є джерелом напруги, яка, за умови замкнутості електричного кола, викликає електричний струм  $I$  (функція  $\Phi_1$ ). Провід  $V_2$  має функцію  $\Phi_2$  – проводити струм від електромережі до штепсельної розетки  $V_3$ , яка з'єднує і роз'єднує провід з електромережею (функція  $\Phi_3$ ). Від штепсельної розетки струм тече по провіднику  $V_4$ , який приєднаний до спіралі

(функція з'єднання  $\Phi_4$ ). Спіраль  $V_5$  нагрівається (функція  $\Phi_5$ ). Як результат, ємність з рідиною  $V_6$  доводиться до кипіння.

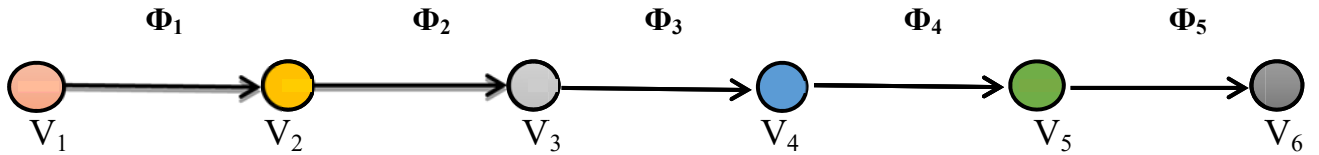


Рис. 1. 1. Конструктивна функціональна структура побутової електроплитки ◀

**Потокова ФС** являє собою граф, вершини якого є найменування елементів ТС або найменування операцій Коллера, а дугами – вхідні та вихідні потоки (фактори).

**Пр.2. →** Розглянемо потокову ФС, для розглянутого вище прикладу.

**SE →** Ця структура має вигляд, зображений на рис. 1.2. Як бачимо, зв'язок – переривання електричної напруги штепсельною розеткою і вилкою (фактор  $\Pi_1$ ) викликає у проводі  $W_1$  електричний струм або відсутність його. Електричний струм провідності по суті є потоком електромагнітної енергії  $\Pi_2$  у провіднику (проводі). Проходження струму по вольфрамовій спіралі  $W_2$  викликає потік теплової енергії  $\Pi_3$ , який нагріває воду в каструлі  $W_3$ , і потік електромагнітної енергії  $\Pi_4$  (переважно у вигляді інфрачервоного випромінювання), який нагріває повітря та предмети навколишнього середовища  $W_4$ . ◀

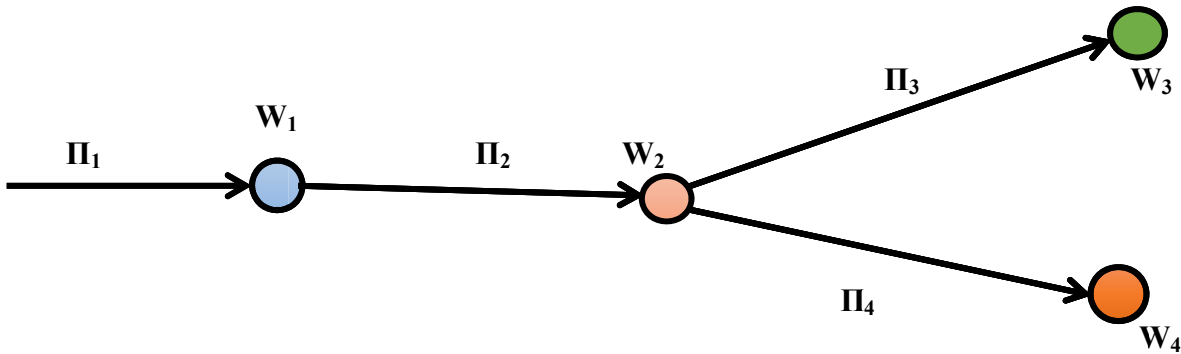


Рис. 1. 2. Потокова функціональна структура побутової електроплитки

**П →** Як показав автор [111], ПГ можна розглядати як джерело інформації, яке відображає внутрішню структуру взаємодіючих об'єктів ( $a_i, i = \overline{1, n}$ ). Вважаємо, що це джерело відображає власну прагматичну ( $Y_1$ ) і семантичну (сислову) ( $Y_2$ ) структури, які входять у множину  $Y$  (термін “прагматичний”, від гр. *pragmatikos* – “придатний для дій” ; термін “семантичний”, від гр. *σημαντικός* – смислове значення слова). Множину елементів внутрішньої структури джерела інформації позначимо, як  $A = \{a_i\}$ , де  $i \in I$ . Тоді число структур інформації, які отримуються від множини  $A$  об'єктів ПГ можна задати числом компонентів множини  $D$ , яка визначається об'єднанням двох множин, тобто :

$$D = (A \times Y) \cup (A \times A), \tag{1.13}$$

де перший декартів добуток ( $A \times Y$ ) зображується графом відношень від  $A$  до  $Y$  (біграфом), а другий добуток ( $A \times A$ ) – графом відношень в множині  $A$ , який визначає число зв'язків між об'єктами ПГ.

Зазначимо, що в формулі (1.13) для універсального відношення  $P = A \times A$  елімінуються пари  $(a_i, a_i)$  елементів. Ці пари відповідають співвідношенню  $a_i P a_i$  в множині  $A$  та зображуються петлями графа відношення в множині  $A$ . Також об'єднуємо пари, яким відповідають відношення  $a_i P a_j$  і  $a_j P a_i$ , що ілюструються ненаправленими дугами.

Наприклад, при аналізі функціональних і поточкових зв'язків при роботі асинхронного двигуна спочатку зображають конструктивну функціональну структуру, яка відображає

функціональні зв'язки між об'єктами (логічна структура), а потім – потокову функціональну структуру, яка відображає потокові зв'язки (прагматична структура). Не розглядаючи методи побудови вказаних структур, зазначимо, що для 4-х взаємодіючих об'єктів (трифазна мережа, статор, ротор і робоча машина)  $a_1, a_2, a_3, a_4$ , загальна кількість  $N$  функціональних зв'язків (функцій об'єктів) і поточкових зв'язків (потоків перетворення видів енергії) дорівнює числу визначених компонентів множини  $D$ , а саме  $N = 14$ . ◀

**Принцип дії** (*functional principle; mode*) розглядається як основна процесна характеристика технічної системи, яка вказує на її функціональну структуру, а також на закони природи, які виражені фізичними явищами й ефектами, законами фізики та хімії, та які визначають хід процесу та його основні особливості.

Зі “принципом дії” пов'язана характеристика процесу, який здійснюється в ТО та основні дії, які об'єкт здатний здійснити. Наприклад, в класі “асинхронні двигуни” реалізується один і той же принцип дії, який базований на законах Біо-Савара-Лапласа, Ампера, електромагнітної індукції Фарадея і динаміки обертального руху. Дійсно, при протіканні трифазного змінного струму по обмотках статора в електродвигуні створюється обертальне магнітне поле, яке наводить електрорушійну силу (ЕРС) і струм індукції в обмотках ротора. Взаємодія струму ротора з магнітним полем статора викликає момент сил, що обертає ротор з кутовою швидкістю, яка менше швидкості поля (ефект асинхронізму).

Якщо в явищах і процесах приймають участь тільки фізичні закони то говорять про **фізичний принцип дії** (ФПД).

Для опису ФПД визначеного ТО використовується **віртуальний фонд природничо-наукових і науково-технічних ефектів** (ПН і НТЕ), який створений російськими науковцями (започаткував О.І. Половінкін) і реалізований на основі Інтернет-технологій (див. [http // www.effects.ru](http://www.effects.ru). “Виртуальный фонд естественнонаучных и научно-технических эффектов. Эффективная физика”).

Зокрема, проектування нових пристроїв захисту від ураження електричним струмом не уможлиблюється без розв'язання складної задачі пошуку нових ФПД, шляхом автоматизованого чи автоматичного синтезу на базі ЕОМ з використанням віртуального фонду ПН і НТЕ.

Термін “**спосіб дії**” означає спосіб реалізації певного ФПД, який здійснюється в певному класі технічних об'єктів, а також конструктивне оформлення ФПД, один із варіантів технічних рішень, який відповідає підкласу об'єктів.

Варіантами технічних рішень можуть бути асинхронні двигуни, які мають різноманітні структури ротора: коротко замкнута обмотка типу “біляча клітка”, фазний ротор, масивний ротор, порожнистий ротор тощо. Можна показати, що принцип дії класу “асинхронні двигуни” одночасно реалізує декілька ПН і НТЕ.

Традиційні технічні системи, які удосконалюються, або спроектовані нові системи піддаються експлуатаційним випробуванням на процеси функціонування в різних режимах.

Під “**режимом функціонування**” (“**режимом роботи**”) **виробу** розуміється сукупність умов роботи за певний інтервал часу з врахуванням їх тривалості, послідовності, а також значень і характеру навантаження (термін “**режим роботи**” переважно вживають при наявності людського чинника). Вказаним умовам роботи відповідають певні значення експлуатаційних параметрів.

У теорії надійності термін “**режим роботи**” означає сукупність значень експлуатаційних параметрів виробу при використанні його за призначенням [147].

До вказаних параметрів відносяться потужність, швидкість, циклічність роботи, тривалість неперервної роботи тощо.

**Технічне рішення** (TR, *engineering solution*) – це конструктивне оформлення ФПД або ФС. При цьому використовують такі групи ознак [165]:

- перелік основних елементів;
- взаємне розташування елементів у просторі;
- способи і засоби з'єднання та зв'язки елементів між собою;
- послідовність взаємодії елементів у часі;
- особливості конструктивного виконання елементів (геометрична форма, матеріали, технологія і т. д.);
- принципово важливі співвідношення параметрів для ТО в цілому або окремих елементів.

Описується TR на природній мові з графічним зображенням. Для цього широко застосовується відповідне програмне забезпечення (ПЗ).

---

## 1.4. Два наукових підходи до проектування технічних і дидактичних об'єктів

---

Поняття САПР. Об'єкт проектування (ОП), проект. Сутність методології інженерного проектування. Специфікація. Мета інженерного проектування. Умови та вимоги. Простір стратегій. Багатокритеріальні завдання проектування. Принцип ієрархічності. Принцип структурної декомпозиції (блочності). Функціональна декомпозиція. Методика низхідного проектування. Орієнтований граф (дерево) низхідного проектування. Принципи структурної та функціональної декомпозиції. Стадії та процедури низхідного проектування. Об'єктно-орієнтований підхід (ООП). Об'єктна декомпозиція. Принципи розробки методики проектування на основі ООП. Методика проектування технічних баз знань на основі ООП.

---

Відповідно до міжнародного стандарту ISO 9000-2015, **проектування** – це сукупність процесів, які перетворюють вимоги (сформульовані потреби або очікування) в установлені характеристики (відмітні властивості) або в технічні умови на продукцію, процес чи систему [68].

Термін “**розроблення**” є синонімом терміна “**проектування**” або визначає відносно великий етап (стадію) процесу проектування.

Для систем автоматизованого проектування (САПР) використовують програми проектування CAD, CAM, CAE та ін. Як результат, отримують **проект** (від лат. *projectus* – “кинутий вперед”) – цілісна сукупність моделей, властивостей або характеристик, описаних у формі, придатній для реалізації системи. Відповідно ДСТУ 3321-96 “Система конструкторської документації. Терміни та визначення основних понять”, **проект** – це проектна конструкторська документація, яка містить остаточне технічне рішення і дає повне уявлення про будову розроблюваного виробу.

Проектування здійснюється після моделювання і характеризує перехід від загального опису об'єкта-оригіналу до деталізованого (точніше **моделювання** є іманентною складовою процесу проектування). Це відповідає схемі: **об'єкт проектування** (ОП) ⇒ **специфікація** (завдання на проектування) ⇒ **модель** ⇒ **проект** ⇒ **алгоритм** ⇒ **програма** (програма необхідна для виконання розробленого алгоритму на ЕОМ).

**Специфікація** (від лат. *species* — вид, різновид) – формалізований опис властивостей, характеристик і функцій об'єкта проектування, який визначає вимоги до його функцій, характеристик та умов експлуатації. Реально це є технічний документ, в якому зазначено назви частин, вузлів і деталей даного виробу, їхню кількість, матеріал, маса та ряд властивостей виробу.

Метою інженерного проектування є одержання такого вербального опису об'єкта проектування або отримання його інформаційної моделі у вигляді схеми, формули, алгоритму, програми тощо, які можуть задовольняти сукупність умов і вимог. Конкретні **умови** пов'язані з реальним функціонуванням досліджуваної системи, а **вимоги** – з рядом обмежень її функціонування та заданих параметрів і характеристик, які вимагає замовник проекту або власне сам розробник.

**П**→ Інженерне проектування здійснюється на основі певної **стратегії**, яка визначає цілі та завдання проектної діяльності, а також є основою для розробки способів та форм досягнення цілей і розв'язання завдань, розподілу ресурсів (інтелектуальних, інформаційних, часових тощо) за видами діяльності.

**Простір стратегій**  $\mathfrak{R}$  – скінченна множина варіантів  $A_i$  ( $i \in \overline{1, N}$ ) проектів, яка виражається як декартів добуток множини альтернатив:

$$\mathfrak{R} = A_1 \times A_2 \times A_3 \times \dots \times A_N. \quad (1.14)$$

Методологія інженерного проектування передбачає вирішення проблеми багатокритеріального вибору з метою забезпечення виконання поставлених завдань [106]. **Багатокритеріальний вибір** – це процедура прийняття рішення на основі аналізу обмежень в умовах як детермінованості, так і в умовах невизначеності. При цьому здійснюється вибір певної альтернативи (варіанта)  $A_i$ ,  $i \in \overline{1, g}$  із множини альтернатив  $A$ , які подані як диз'юнкція:

$$A = \{ A_1 \vee A_2 \vee A_3 \vee \dots \vee A_g \}, \quad (1.15)$$

Зокрема, мета розв'язання конкретного багатокритеріального завдання в умовах детермінованості (визначеності) полягає у пошуку множини ефективних елементів  $P_f(Y)$ , які в свою чергу відносяться до множини  $Y$  ( $P_f(Y) \subseteq Y$ ).

Множина  $P_f(Y)$  називається **множиною Парето** для векторного відношення  $f_k: Y \rightarrow R^m$ ,  $k = \overline{1, m}$ , де  $R^m$  – простір критеріїв,  $f_k(y)$  – частинні цільові функції, які потрібно максимізувати:

$$f_k(y) \rightarrow \max, y \in Y, k \in \overline{1, m} \quad (1.16)$$

Вибір раціонального (оптимального в сенсі Парето) варіанта проекту нетривіальний тому, що на множині  $Y$  крім строгого порядку відношень  $R_S$

$$(y_i, y_j) \in R_S \Leftrightarrow \forall k : [f_k(y_i) > f_k(y_j)], \quad (1.17)$$

існує квазіпорядок відношень  $R_P$ , який можна подати як кон'юнкцію:

$$(y_i, y_j) \in R_P \Leftrightarrow \forall k : [f_k(y_i) \geq f_k(y_j)] \wedge [f_k(y_i) \neq f_k(y_j)]. \blacktriangleleft \quad (1.18)$$

Інженерне проектування реалізується за допомогою методики **низхідного** (*top-down*) і методики **висхідного** (*bottom-up*) **проектування** які, зазвичай, редукуються до рівня алгоритмів і відповідних прикладних програм.



**Методика низхідного проектування** (яка в літературі ще має назви *структурного проектування* або *процедурного структурування*), базується на принципах ієрархічності та декомпозиції. Структурний підхід розроблений у кінці 70-pp. XX ст. (DeMarco, Gane & Sarson, Yourdon) і набув статусу універсального засобу моделювання – основи проектування. Низхідне проектування реалізується тоді, коли вирішення проблем високих ієрархічних рівнів передуює вирішенню проблем більш низьких рівнів.

У вказаній методиці реалізується структурування уявлень про ОП за ступенем детальності опису (*принцип ієрархічності*) та розбиття уявлень кожного рівня на ряд складових частин (блоків) з можливостями поблочного проектування об'єктів на різних рівнях абстрагування (*принцип структурної декомпозиції*) [155].

Таким чином, в основі наукового проектування технічних об'єктів лежить група базових принципів, серед яких виділимо два принципи:

- а) **принцип ієрархічності** – структурування уявлень про об'єкт проектування за ступенями детальності опису на різних ієрархічних рівнях (рівнях абстрагування);
- б) **принцип структурної декомпозиції (блочності)** – поділ уявлень кожного рівня на ряд складових частин (блоків) з можливостями відокремленого (поблочного) проектування об'єктів  $S_i$  на рівні 1, об'єктів  $S_{ij}$  на рівні 2 і т. д.

Блочно-ієрархічний підхід до проектування спричиняє до появи **ієрархічних рівнів**, або **рівнів абстрагування** (вказані рівні є якісні та в кращому випадку можуть задовольняти кваліметричну шкалу порядку).

**ДВ** → На нульовому рівні технічний об'єкт розглядається як цілісна система  $S$ , яка складається з  $n$  взаємозв'язаних і взаємодіючих підсистем  $S_i, i = \overline{1, n}$  (рис. 1.3). На 1-му рівні реалізується декомпозиція (розчленування) системи  $S$  на підсистеми  $S_i, i = \overline{1, n}$  або блоки за функціональною ознакою. Подібне розчленування продовжується аж до деякого рівня абстрагування, на якому отримують базові елементи, що подальшому поділу не підлягають. По відношенню до структурного проектування складної системи (у тому числі програмної), процес декомпозиції на визначені рівні, виділення на кожному рівні підсистем, кожну з яких можна розробляти незалежно від інших – головний спосіб переборення скрутності розробки складних технічних систем (або програмного забезпечення). На рис. 1.3 показано тільки три ієрархічних рівні, де 2-й рівень виділяє елементи  $S_{ij}, j = \overline{1, m}$ . На кожному рівні абстрагування реалізується роздільне (поблочне) проектування об'єктів з врахуванням їх *властивостей*.

**Пр. 1** → Здійснити декомпозицію об'єкта проектування із галузі машинобудування – верстата.

**SE** → На 2-му ієрархічному рівні визначаються властивості вихідних (базових) елементів – *деталей*. На 1-му рівні визначаються властивості складальних одиниць (зокрема, це джерело обертового руху (електродвигун), привід подач, кулачковий патрон і т. д.).

Як правило, властивості 1-го рівня визначається методом суперпозиції (лат. *superpositio* – накладення). У свою чергу, нульовий рівень являє собою агрегат (комплекс) – *металообробний верстат*.

Зазначимо, що у загальному випадку, *властивості* на нульовому рівні не можна визначити тільки методом суперпозиції, тому що виникають нові (інтегративні, емерджентні) властивості, яких не було у складальних одиницях. Зокрема, однією з інтегративних властивостей є здатність верстата обробляти деталі на різних режимах різання.

**Пр. 2** → Здійснити декомпозицію такого об'єкта проектування, як побутова електроплитка.

**SE** → Відповідно до (рис. 1.1) побудована конструктивна функціональна структура (ФС) у вигляді орієнтованого графа, вершини якого є найменування елементів, а дуги – функції

елементів. У даному випадку на рівні 2 визначені конструктивні елементи електроплитки та виконувані ними функції. При цьому необхідно визначати *властивості* конструктивних елементів електроплитки з метою забезпечення якості майбутнього виробу відповідно до показників якості.

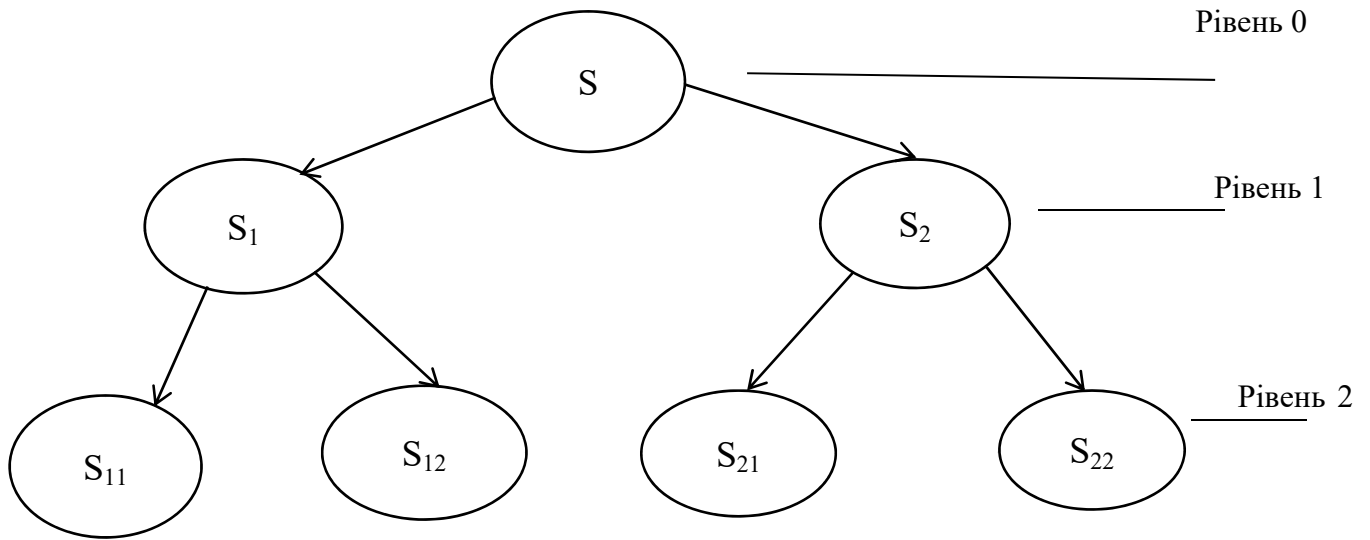


Рис. 1. 3. Ієрархічні рівні опису властивостей об'єкта проектування

На рівні 1 теоретично або / і експериментально визначають комбіновані властивості при функціонуванні взаємодіючих елементів (наприклад, мідного проводу зі струмом й ізоляції при несприятливих умовах експлуатації: волога, вогкість і т. ін.). Як правило, до властивостей ізоляції пред'являються підвищені вимоги. Наприклад, якщо замість системи ізоляції класу нагрівостійкості F (155 °С) застосувати ізоляційні матеріали класів Н (180°С) і С (200°С), то це дозволить підвищити значення лінійного струмового навантаження та питомої потужності електротехнічного виробу даного виду на 18 і 23% відповідно [118].

Рівень 0 визначає інтегративну якість побутової електроплитки, яка забезпечує її призначення, або мету її створення – електроплита є нагрівальною електроустановкою, що використовується для приготування їжі. При цьому використовується такий фізико-технічний ефект: проходження струму через нагрівальний елемент, згідно із законом Джоуля-Ленца, супроводжується виділенням теплової енергії, яка поглинається емкістю з водою і сирими продуктами, в результаті кипіння якої отримується з часом готовий для споживання харчовий продукт (страва). ◀

Основним методом розбиття на ієрархічні рівні є **функціональна декомпозиція**, при якій структура ОП описується в термінах ієрархічно упорядкованих ланок: *функції* → *підфункції* → *завдання* → *процедури*. При цьому проект, як систему, розробляють в умовах, коли її елементи ще не визначені і, отже, відомості про їх можливості й ознаки мають характер припущення. В програмній реалізації дані, знання та процеси проектуються незалежно один від одного, як ланцюг: “об’єкт ⇒ властивість ⇒ зв’язок”.

П→ **Низхідне проектування** передбачає реалізацію ОП у вигляді ієрархічної моделі, на базі якої формуються різноманітні варіанти можливих рішень. Якщо  $Z_0$  – мета проектування нового ТО, то узагальнений прототип проектування складається з таких рекурсивно вкладених множин (рис.1.4): можливих моделей ТО ( $Z_i, i = \overline{1, n}$ ); можливих структур вказаних моделей ТО ( $S_{ij}, j = \overline{1, m}$ ), вимог до структури їх моделей ( $D_{ijk}, k = \overline{1, v}$ ).

Нехай  $Q$  – специфікація,  $S$  – множина проектних рішень (множина варіантів нових ТО). Кожне рішення оцінюється множиною критеріїв  $K$ , для кожного із яких  $K_l, l = \overline{1, q}$  підбираємо шкалу оцінювання  $Ш_z, z = \overline{1, g}$  із множини шкал  $Ш_w, w = \overline{1, r}$ , які можуть бути як вербальні, так і

числові. Невизначеність ряду вихідних даних і процедур оцінювання вимагає уведення розв'язувального правила  $\Pi$ , яке є наслідком виду функції належності  $L$ . Заде  $\mu_M(x)$ . Тоді завдання прийняття рішення  $\aleph$  при проектуванні конкретного ТО подаємо у вигляді кортежу:

$$\aleph = \langle Z_0, Q, S, K, \mathcal{M}_w, \Pi \rangle. \quad (1.19)$$

Процес автоматизованого проектування промислових виробів традиційно використовує методику *структурного (низхідного, каскадного) проектування*, яка реалізується тоді, коли вирішення проблем високих ієрархічних рівнів передує вирішенню проблем нижчих рівнів. При цьому проект розробляють в умовах, коли її елементи ще не визначені і, отже, відомості про їх можливості й ознаки мають характер припущення.

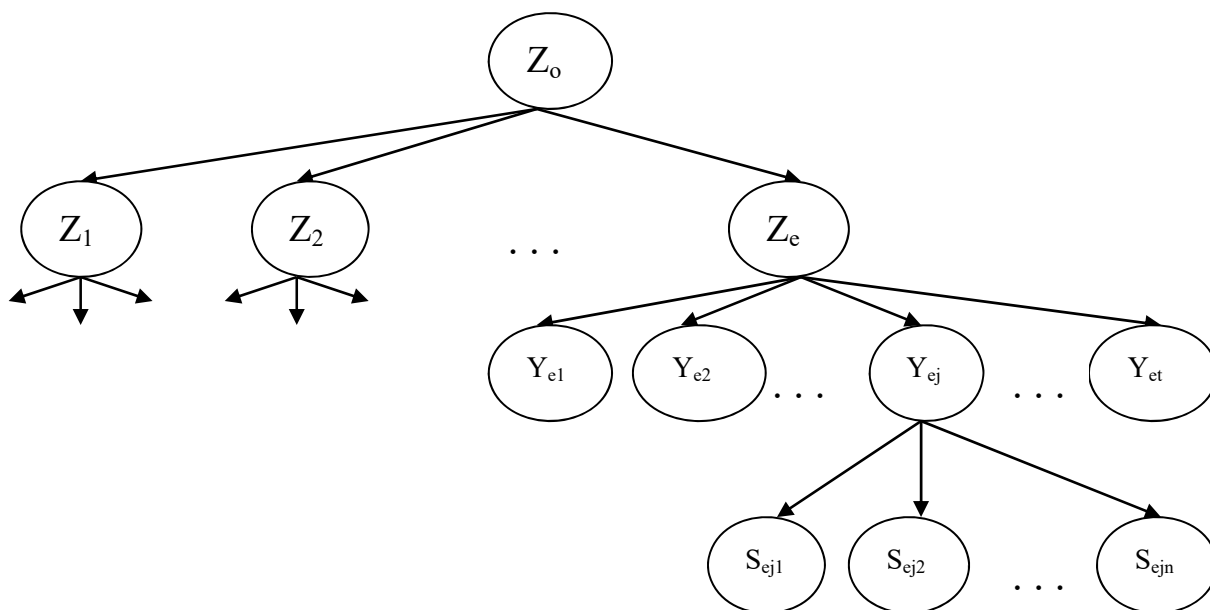


Рис. 1.4. Орієнтований граф (дерево) низхідного проектування

Маршрут проектування технічних об'єктів (нових виробів) структурований на певні послідовні стадії, кожна з яких включає декілька етапів (проектних процедур), а саме такі [34; 106; 155]:

- 1) **стадія ідентифікації** (формування цілей інженерного проектування; визначення завдань, які підлягають розв'язанню; виявлення ресурсів; складання специфікації на проект, яка визначає технічні вимоги до функцій, параметрів і характеристик об'єкта проектування; формулювання технічного завдання до об'єкта проектування – ТО);
- 2) **стадія концептуалізації та моделювання** (огляд наукових джерел з проблеми проектування; змістовний аналіз ПГ, яка включає ОП; розробка абстрактної моделі ОП, яка відображає самі загальні геометричні, структурні, функціональні, інформаційні та параметричні характеристики, а також входи і виходи проектованої системи);
- 3) **стадія функціональної декомпозиції**, тобто розбиття можливої структури об'єкта проектування на ієрархічні рівні, при яких структура об'єкта, як системи, описується в термінах ієрархічно упорядкованих ланок: *функції*  $\Rightarrow$  *підфункції*  $\Rightarrow$  *завдання*  $\Rightarrow$  *процедури*;
- 4) **стадія структурного синтезу** (побудова, тобто синтез, декількох альтернативних структур наукової моделі ТО; аналіз вказаних структур; синтез оптимальної структури наукової моделі ТО; вибір вихідних значень параметрів);
- 5) **стадія параметричного синтезу**, який включає процедури одно- і багатоваріантного аналізу з метою визначення більш точних (адекватних) вихідних параметрів (процедура

оптимізації), а також параметрів елементів при вибраній структурі та заданих умов функціонування майбутнього ТО (працездатності); побудова змістової моделі ТО);

- 6) **стадія програмування** (перетворення отриманого проекту в алгоритм; опис виконання алгоритму на мові програмування високого рівня; реалізація *процедурного програмування*, яке здійснюється як виклик *процедури*, а саме прикладної комп'ютерної підпрограми, методу, функції тощо);
- 7) оформлення документації;
- 8) передача проекту замовнику. ◀

Сучасне автоматизоване проектування переважно використовує **висхідний, або об'єктно-орієнтований підхід (ООП)**, який започаткований в 1979 р. (А. Jones), а в подальшому розвинутий в працях (D. Shaw, A. Peterson, Г. Буч, Е.В. Попов та ін.).

ООП пов'язаний з декомпозицією і виділенням *не процесів* (як в низхідному проектуванні), а *об'єктів*, причому кожний об'єкт розглядається як екземпляр певного класу. В рамках об'єктно-орієнтованого програмування дані називаються *полями об'єкта*, а алгоритми – *об'єктними методами*.

Таким чином, основним методом в ООП є **об'єктна декомпозиція**, що полягає в описуванні структури системи в термінах об'єктів (екземплярів класу, екземплярів сутності) та зв'язків між ними, а поведінка системи – в термінах обміну повідомленнями між об'єктами. Вказаний підхід розроблений в теорії штучного інтелекту на початку 80-х рр. ХХ ст. та “втільений” в мовах програмування Smalltalk, C++, Java, CLOS, C# та ін. Реалізація його основних принципів (абстрагування, модульності, інкапсуляції, ієрархії, поліморфізму) дозволяє отримувати проекти, які адекватні дійсності [33; 52; 106].

Об'єктна декомпозиція суттєво відрізняється від функціональної, проте перехід від структурного підходу до об'єктного має ряд переваг. Використання ООП суттєво підвищує рівень уніфікації розробки об'єктної моделі, яка є компактною, відносно менш складною і більш відкритою для внесення змін при суттєвих варіаціях вихідних вимог.

Відхід у проектуванні від поділу процесів і даних, виділення суттєвих властивостей ОП й ігнорування неістотними деталями (**принцип абстракції**), оперування слабо зв'язаними між собою декларативними модулями, які зменшують складність системи (**принцип модульності**), приховування змісту підсистем (проектних рішень) нижнього рівня від змісту підсистем верхнього рівня (**принцип інкапсуляції**), використання уніфікованої **мови моделювання UML**, яка має стандартний набір діаграм для моделювання дозволяє за допомогою **CASE-технології** розробити методику проектування технічних об'єктів або програмного забезпечення, яка є ефективною та “прозорою” на шляху від завдання проектування до відповідного рішення.

**П→** Основними принципами об'єктно-орієнтованого проектування є:

- 1) **принцип інкапсуляції** – об'єднання в єдине ціле даних (*полів об'єкта*) й алгоритмів (*об'єктних методів*) обробки цих даних;
- 2) **принцип успадкування** – наявність ієрархічного дерева об'єктів, в якому при переході від кореня (*батьківського об'єкта*) до гілок (*об'єктів-нащадків*) автоматично успадковуються всі поля і методи, що дозволяє будувати бібліотеку за принципом “від простого – до складного”, тобто реалізувати проектування на основі відповідних прикладних програм за висхідною концепцією (*bottom-up*);

- 3) **принцип поліморфізму** – властивість споріднених об'єктів (тобто об'єктів, які мають одного батьківського об'єкта) розв'язувати схожі за сенсом проблеми різними способами (властивості об'єкта визначаються набором методів, які в нього входять).

Нами розроблена та реалізована методика висхідного (*об'єктно-орієнтованого*) дидактичного проектування для процесів, які відбуваються в такому об'єкті ПГ, як діюча електроустановка в мережі з глухим заземленням нейтралі силового трансформатора (система TN, або стара назва “занулення”) [106].

Вказана методика проектування технічних баз знань має такі послідовні стадії:

1. Стадія **ідентифікації**.
2. Стадія **змістового аналізу** об'єктів ПГ, які розглядаються як екземпляри певного класу об'єктів.
3. Стадія **концептуалізації (структурування) знань** – розробка неформального опису знань про об'єкти ПГ у вигляді вербального тексту, таблиць, діаграм тощо. Концептуалізація не уможливується без побудови моделей об'єктів ПГ (предметів, процесів, явищ, ситуацій тощо) у вигляді відповідних концептів, понятійних структур (взаємовідношень між поняттями) і систем понять (знань). До стадії концептуалізації відносяться такі етапи:
  - **етап інтеграції знань** про об'єкти ПГ, що полягає в формуванні понять, а також інформаційно-сміслових елементів (ІСЕ) – завершених за змістом і формою простих суджень, за подальшого поділу яких втрачається смисл (наприклад, “вібрація електродвигуна призводить до руйнування споруди”), а також інформаційних одиниць (ІО) – правил, законів, принципів тощо;
  - **етап систематизації**, пов'язаний з виявленням відношень, які існують між поняттями, ІСЕ та ІО. До відношень між поняттями відносяться каузальні, асоціативні, ситуативні, функціональні, просторово-часові, “тип-вид”, явні та неявні, чіткі та нечіткі, прагматичні, логічні, семантичні та інші. Ці відношення визначаються як через перелік конкретних екземплярів об'єкта ПГ (*екстенціонал поняття*), так і через взаємозв'язок значущих ознак поняття, зокрема прагматичних і семантичних (*інтенціонал поняття*). Виявлення відношень дозволяє як деталізувати кожне поняття, так і узагальнювати конкретні поняття;
  - **етап абстрагування** – “...виявлення суттєвих характеристик поняття, яке вирізняє його від інших” [35, с. 94].
4. Стадія **формалізації** визначає перехід від об'єктів ПГ до відношень між ними, способи зображення в знаковій формі відношень між виділеними компонентами (поняттями, ІСЕ, ІО) та побудову структури інтегрованого (в граничному випадку – синтезованого) наукового знання. Це здійснюється шляхом побудови графів, семантичних мереж, фреймів. Останні раціонально використовувати при побудові *піраміди знань* – “...ієрархічної драбини понять, піднімання по якій означає поглиблення розуміння та підвищення рівня абстракції (узагальненості) понять” [35, с. 132].
5. Стадія **методичної обробки** – адаптація побудованих наукових знань до цілей занять, пізнавальних, інтелектуальних і тезаурусних можливостей конкретного контингенту студентів. Перетворення піраміди наукових знань в галузі конкретної наукової дисципліни у піраміду *навчальних знань*.
6. Стадія **конструювання та програмування** – розробка дворівневого або тривірневого змісту навчального матеріалу про об'єкти ПГ, конструювання моделей навчальних знань, розробка алгоритмів та комп'ютерних програм змісту навчання.
7. Стадія **впровадження** змістового та програмного продукту в навчальний процес.

Широке впровадження інформаційних технологій навчання у вищій школі зумовлює перехід від лінгвістичного рівня подання знань (опис знань, в якому домінує вербальна форма) до формалізованого рівня знань (зображення знань у моделях), який суттєво більш інтегрований, ніж попередній рівень.

Вказаному вище сприяє перехід від планування до проектування змісту навчання, що дозволить перейти *не стільки до повноти знань, скільки до повноти розуміння* (Демокрит). ◀

---

## 1.5. Виробничі системи, виробництво

---

Виробництво. Аналіз понять “виробнича система”, “технологічна система”, “технологія виробництва”. Виробничий процес. Технологічний процес. Вироби. Аналіз виробничої системи.

---

Сучасне виробництво є складною динамічною системою. Як зазначає Ю.Д. Аміров, “**Виробництво** – це сукупність взаємозв’язаних процесів, за допомогою яких суспільство, використовуючи сировинні ресурси і сили природи, створює необхідні продукти у вигляді засобів виробництва і предметів споживання” [8, с. 41].

Розглянемо поняття “виробнича система”, “технологічна система”, “технологія виробництва”.

**Виробнича система** (*manufacturing system*) – складна, відкрита, багаторівнева ієрархічна система, що перетворює початкові напівфабрикати сировини або матеріалів у кінцевий продукт, який відповідає суспільному замовленню.

Як підсистема виробничої є **технологічна система** (*technological system*) – сукупність функціонально взаємозв’язаних засобів технологічного оснащення, предметів виробництва та виконавців для здійснення в регламентованих умовах виробництва заданих технологічних процесів чи операцій.

**Технологія виробництва** (від гр. *τεχνη* – майстерність, техніка + *λογος* – вчення) – сукупність методів (способів) виготовлення, видобутку, обробки або переробки та інших процесів, робіт й операцій, що змінюють стан сировини, матеріалів, напівфабрикатів чи виробів у процесі отримання продукції із заданими показниками якості. До складу сучасної технології виробництва, або виробничої технології включають і технічний контроль виробництва. Продуктом виробничої технології є **вироби** (деталі, складальні одиниці, різноманітні машини, комплекти та комплекси).

**Виробничий процес** – сукупність усіх дій людей, засобів праці, які необхідні на даному підприємстві для виготовлення продукції (надання послуг) та ремонту продукції.

**Технологічний процес** – частина виробничого процесу, що включає цілеспрямовані дії зі зміни і (або) визначення стану предмета праці.

**Предмет праці** – річ або комплекс речей, які піддаються впливу людини в процесі виробництва.

Предмет праці розділяється на три види:

- 1) матеріали, що безпосередньо видобуваються в природі та перетворюються в продукт (вугілля, нафта, руда та інша мінеральна сировина, що видобуваються з надр землі);
- 2) сільськогосподарська сировина, що поділяється на сировину тварин (м’ясо, риба, молоко, вовна, шкіра тощо) і сировину рослин (зернові культури, бавовна, льон, картопля, цукрові буряки тощо).
- 3) матеріали, які зазнали попередньої обробки.

**ДВ** → Примітка 1. До **предметів виробництва** відносяться: матеріал, заготовка, напівфабрикат та виріб, що перебувають відповідно до виконаного технологічного процесу в стадії зберігання, транспортування, формотворення, оброблення, складання, ремонту, контролю та випробування.

Примітка 2. До *регламентованих умов виробництва* відносяться: регулярність надходження предметів виробництва, параметри енергопостачання, параметри навколишнього середовища тощо.

Примітка 3. Розрізняють *чотири ієрархічні рівні технологічних систем*: операції, процеси, виробничі підрозділи та підприємство. ◀

Виробнича система являє собою відокремлену в результаті суспільного поділу праці частина виробничого процесу, здатну самостійно або у взаємодії з іншими аналогічними системами задовольняти ті чи інші потреби, потреби і запити потенційних споживачів за допомогою вироблених цією системою товарів і послуг.

**Виробничі системи** – це окремих клас систем, що об'єднує працівників, знаряддя і предмети праці та інші елементи, необхідні для функціонування системи, у процесі чого створюється продукція або послуги.

Функціонуюча виробнича система – це **виробництво**, тобто процес створення матеріальних і суспільних благ, необхідних для існування та розвитку держави.

Залежно від ступеня завантаження робочих місць розрізняють **такі типи виробництва**: масове, великосерійне, серійне, одиничне і дрібносерійне.

Виробнича система має ієрархічну структуру:

- 1) первинні ергатичні системи;
- 2) виробнича дільниця;
- 3) виробничий цех (виробничий підрозділ);
- 4) виробництво в цілому.

**Первинні ергатичні системи ⇒ Виробнича дільниця ⇒ Виробничий цех (виробничий підрозділ) ⇒ Виробництво в цілому**

Розглянемо вказані компоненти ієрархічної структури з точки зору методів моделювання.

Дослідження систем унеможлиблюється без моделювання та моделей. **Завдання моделювання** полягає в тому, що для заданого об'єкта потрібно підібрати такий опис, який у повній мірі відображав би оригінал з точки зору заданої мети моделювання. Результатом моделювання є модель. **Модель** (від лат. *modulus* – міра, зразок) – це деякий об'єкт (реальний, знаковий, абстрактний або уявний), відмінний від об'єкта-оригіналу, поданий в найбільш загальному вигляді (вербальний опис, схема, креслення, графік, формула, математичне рівняння, логічний вираз тощо), відтворюючи властивості, ознаки, параметри та характеристики оригіналу в межах розв'язуваних теоретичних задач чи практичних завдань.

Виробничі системи розробляються та досліджуються починаючи з етапу побудови концептуальних моделей. **Концептуальні моделі** – це моделі, які подаються множиною понять і зв'язків між ними. Вони визначають смислову структуру конкретного об'єкта ПГ або всієї ПГ, базуючись на певній концепції чи теорії. Вказана дослідницька модель відображає склад, структуру, цілі та умови функціонування виробничої системи, а також можливості управління нею.

При дослідженні чи проектуванні виробничих систем часто буває доцільно в

межах концептуальної моделі розглядати такі класи моделей, як:

1. **Дескриптивні моделі**, які описують систему, її призначення, будову, склад, структуру, функції, принцип дії, механізми розвитку.
2. **Процедурні моделі**, які описують тільки процеси і не відображають фізичний зміст системи.

Вказані класи моделей поділяються на множину типів і видів моделей, серед яких належить виділити такі моделі, як: даталогічні (моделі даних), інформаційні (інфологічні), структурні, параметричні, функціональні, ресурсні, процедурні, семантичні, канонічні і т. ін.

Зокрема, **канонічна модель** описує взаємозв'язки процесу виробництва і / або надання послуг із зовнішнім середовищем (рис. 1.5). Вона включає три елементи:

- 1) процес (виробнича або сервісна операція);
- 2) зовнішнє середовище (ЗС);
- 3) входи (ресурси) і виходи (продукція) процесу.

Другим етапом моделювання є побудова **формалізованої (формальної) моделі** виробничої системи. Вказана модель має достатньо високий рівень абстракції та унаочнюється у вигляді структурно-логічної схеми, продукційного правила, графу, фрейму, семантичної мережі, мережі Петрі тощо. До формальних моделей високого рівня абстрагування відносяться чотири типи моделей: “чорний ящик”, “білий ящик”), функціональна модель системи, інформаційна модель системи. Зокрема, досить поширений тип формальних моделей виробничих систем – модель “чорного ящика” – модель, яка описує тільки входи і виходи складної системи, а не внутрішнє улаштування системи.

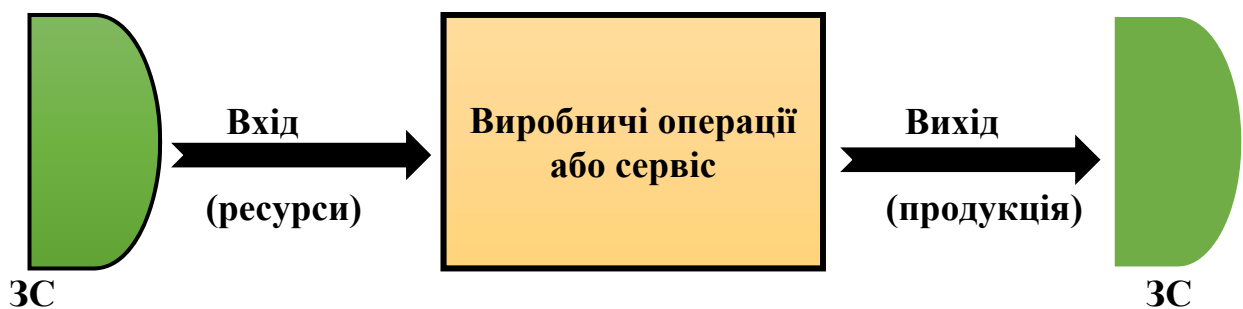


Рис. 1.5. Канонічна модель процесу виробництва і / або надання послуг

Третім етапом є побудова **математичної моделі** (ММ) виробничої системи. В основі побудови ММ застосовується метод структурної та параметричної ідентифікації. Отримують такі математичні моделі: аналітична, алгоритмічна, імітаційна та ін.

На нижньому рівні ієрархії знаходяться первинні ергатичні системи. Зокрема, це група технічних об'єктів (устаткування, механізм, верстат, апарати, прилади тощо), що обслуговуються робітником (оператором, машиністом). До ергатичних систем відносяться такі: “робітник – верстат”, “робітник – технологічна установка”, “робітник – прес” тощо.

До числа основних входів виробничого процесу (або сервісного процесу з обслуговування побутових потреб населення) відносяться чотири види



споживаних ресурсів:

- матеріальні (сировина, основні та допоміжні матеріали, напівфабрикати, комплектуючі вироби);
- енергетичні (електроенергія, паливо, теплова енергія та ін.);
- інформаційні (технічна, технологічна, економічна, управлінська та інші види інформації);
- фінансові (бюджетні асигнування, кредити, інвестиції та ін.).

На другому рівні моделювання розглядається **виробнича дільниця** – складна система, яка охоплює ергатичні системи, а також функціональні підсистеми постачання сировини та складування готової продукції.

На третьому рівні моделювання розглядається **виробничий цех** – основний виробничий підрозділ підприємства. Розміри, види та особливості виробничих цехів залежать від особливостей галузі, типів виробництва, складності продукції, що випускається, чисельності працюючих. Віднесення основних цехів до груп з оплати праці проводиться в залежності від типу виробництва і складності продукції підприємства, від чисельності робітників. Допоміжні та обслуговуючі цехи (інструментальний, ремонтно-механічний, модельний, паросиловий, електроцех, енергоцех та ін.) відносяться до дрібносерійного типу виробництва, до якого віднесено підприємство (рис. 1.6).

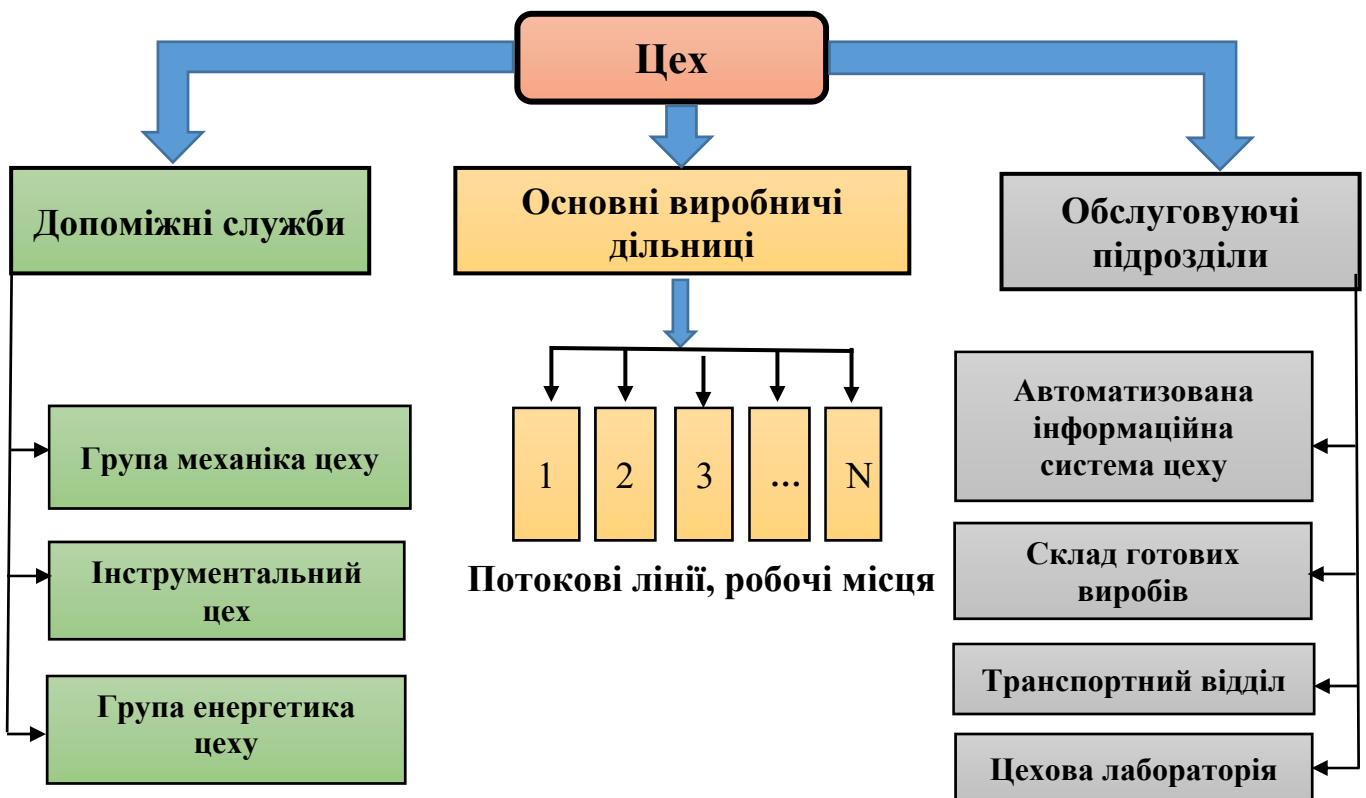


Рис. 1.6. Схема виробничого цеху

Будь-яка виробнича система має:

- 1) **вхід**, через який в систему надходять вхідні ресурси (сировина, матеріали, енергія, паливо і т. ін.);
- 2) **вихід** – результат функціонування виробничої системи, яким може бути: окремий виріб, послуга, інформація чи все разом, залежно від спеціалізації виробничої системи.

У виробничій системі здійснюються **виробничі процеси** (робочі та технологічні). Необхідність аналізу виробничих процесів визначається значимістю розробки і впровадження сучасних систем менеджменту якості.

**Робочий процес** – сукупність всіх трудових процесів (основних і допоміжних трудових операцій та прийомів праці).

Під час робочого процесу кваліфікований робітник за допомогою знарядь праці впливає на предмети праці та перетворює їх у продукт праці, тобто у **готову продукцію**, яка відповідає вимогам стандартів і технічних умов, має документ, що засвідчує її якість, та призначена для збуту за межі підприємства.

Структура виробничого процесу змінюється під впливом технології застосовуваного обладнання, поділу праці, організації виробництва і ін.

Нормальне функціонування виробництва унеможлиблюється без забезпечення його енергією, сировиною, матеріалами, інструментами, транспортними машинами, контрольними і випробувальними стендами та приладами, відділами проектування, планування та збуту продукції тощо.

**Технологічний процес** (ТП) – це частина виробничого процесу, яка являє собою суму технологічних операцій і технологічних переходів (автоматизоване та автоматичне виробництво) цілеспрямованого впливу на предмет виробництва (сировину, матеріали, заготовки) з метою їх зміни.

Іншими словами, технологічним процесом називають частину виробничого процесу, що містить цілеспрямовані дії по зміні стану предмета виробництва (праці). Тобто він являє собою сукупність різних операцій, у результаті виконання яких змінюються розміри, форма, властивості предметів праці, виконується з'єднання деталей у складальні одиниці та вироби, здійснюється контроль вимог креслення та технічних умов. Розрізняють технологічні процеси виготовлення заготовок, термічної обробки, механічної обробки, складання тощо. У свою чергу, **технологічною операцією** називають закінчену частину технологічного процесу, виконувану на одному робочому місці.

Більш детальна класифікація технологічних процесів така:

1. У залежності від сировини, яка використовується:
  - мінеральна сировина;
  - сільськогосподарська сировина.
2. У залежності від способу дії (впливу) на сировину чи на предмет праці:
  - механічна дія (вплив);
  - фізична дія (вплив);
  - хімічна дія (вплив);
  - біологічна дія (вплив);
  - апаратурна дія (вплив).
3. У залежності від ступеня неперервності:
  - неперервні (немає перерв у процесі виробництва, тобто виконання операцій з обслуговування виробництва відбувається одночасно або паралельно з основними операціями);
  - дискретні (виконання основних і обслуговуючих операцій відбувається послідовно, в силу чого основний виробничий процес виявляється перерваним у часі).

Окрім цього, технологічні процеси поділяються на такі типи:

1. **Основні процеси** – технологічні процеси виробництва виробів, тобто процеси зміни форми, розмірів, фізичних або хімічних властивостей сировини і матеріалів.
2. **Допоміжні процеси** – процеси, які забезпечують безперебійний хід основних процесів. До них відносять процеси ремонту та наладки обладнання, постачання електроенергією, парою, стисненим повітрям і т. д. Допоміжні операції сприяють виконанню основних операцій (транспортування, контроль, сортування продукції і т. ін.).
3. **Обслуговуючі процеси** – процеси, які забезпечують здійснення основних і допоміжних процесів: навантаження і транспортування сировини та готової продукції, контроль її якості та складські операції всіх видів.

За характером застосованої праці та засобів виробництва (основного та допоміжного обладнання) виробничі процеси класифікуються на ручні, механізовані, автоматизовані та автоматичні.

Зокрема, роботизовану виробничу дільницю можна розділяти на автоматизовану та автоматичну в залежності від покоління промислових (виробничих) роботів, які застосовуються:

1. **Промислові роботи першого покоління** (з програмним управлінням), застосовують для обслуговування верстатів, пресів, печей, зварювальних установок і машин; виконання основних технологічних процесів (різання, збирання виробу, зварювання тощо), вантажно-розвантажувальних і складських робіт тощо.
2. **Промислові роботи другого покоління** відрізняються від роботів першого покоління наявністю чутливих датчиків (зорових, слухових, нюхових, смакових, дотикових, статичних, кінестатичних, вібраційних, температурних тощо), а також мають більш складний керувальний пристрій.
3. **Промислові роботи третього покоління** (інтегральні роботи) на відміну від роботів другого покоління обробляють інформацію, що отримується від технічних органів відчуття та сприйняття інформації. Ці роботи застосовують для робіт, що вимагають розпізнавання образів (робота за кресленням), а також протікають у складних і мінливих умовах.

Виробничий процес, будучи сукупністю взаємопов'язаних технологічних процесів, залежить від галузевої приналежності та особливостей виробленої продукції (виробів).

**Виріб** – предмет або набір предметів, які виготовлені на підприємстві, тобто є результатом виробничого процесу.

Економіка розглядає виріб як одиницю **промислової продукції**. Виріб, який реалізується в сфері торгівлі є **товаром**.

Є чотири узагальнені категорії промислової продукції:

- 1) перероблені матеріали (наприклад, бруски зі стовбурів дерев, оливи в банках і т. д.);
- 2) технічні вироби (засоби), наприклад, асинхронні електродвигуни;
- 3) інтелектуальна продукція (наприклад, комп'ютерні програми, проекти, технічні словники тощо);
- 4) послуги (наприклад, вантажні перевезення, експертні рішення і т. ін.).

**Управління якістю продукції** базується на єдиних принципах загальної теорії управління виробництвом. Воно полягає, насамперед, у виробленні необхідних управлінських рішень і доцільного впливу виконавців на об'єкти праці з метою постійної підтримки споживчих властивостей продукції на рівні сучасних вимог, які диктує науково-технічний прогрес (НТП) та потреби споживачів.

З точки зору виробництва, якість продукції обумовлена такими факторами:

- якістю нормативної та технічної документації;
- якістю технологічного устаткування й оснащення;
- якістю праці виробників продукції;
- якістю матеріалів, комплектуючих виробів та інструменту;
- досконалістю автоматизованих, автоматичних й інтелектуальних засобів виробництва;
- контролем якості виробів, як невід'ємною частиною управління якістю продукції в межах підприємства.

---

## 1.6. Управління і керування у виробничих системах

---

Процес управління та керування. Модель системи, яка керована зовні. Процес управління виробництвом. Виробнича та технологічна системи. Класи систем керування. Модель виробничої системи. Виробництво як динамічна система. Особливості організації процесу управління виробництвом в умовах гнучких виробничих систем. Формальна модель системи, яка керована зовні. Склад системи управління. Прямий зв'язок управління (керування). Позитивний та негативний зворотні зв'язки. Ентропія як міра складності системи. Принцип необхідної різноманітності У.Р. Ешбі. Керованість складних ТС. Математична модель технічної керованої системи. Автоматизована система керування виробництвом.

---

Технічні, організаційні, ергатичні (людино-машинні), виробничі та інші антропогенні системи функціонують та розвиваються за допомогою **управління** з боку людини або з боку створеного нею технічного і програмного забезпечення – **процес керування** (українська мова за складом і числом синонімів значно багатша за російську, яка оперує тільки терміном “управление”).

**Управління, або керування** – це:

- а) функція організаційних (технічних, виробничих, ергатичних тощо) систем різноманітної природи, яка забезпечує збереження їх структури, підтримує режим діяльності, реалізацію їх програм і досягнення поставленої мети в умовах змінного зовнішнього середовища;
- б) переробка інформації та прийняття на цій основі рішень про доцільну або цілеспрямовану поведінку системи.

Управління (керування) може здійснюватися з боку керуючої системи, а саме це:

- 1) **управління** з боку людини-оператора, керівника (директора, начальника, ректора тощо) агрегатом, машиною, підприємством, фірмою, організацією, закладом і т. ін.
- 2) **керування** з боку автоматичної технічної системи, зокрема це дії **контролера** (від англ. *controller* – регулятор, керуючий пристрій).

**Системи управління та керування** в складних технічних, ергатичних і

організаційно-технічних системах поділяють на два великі *класи*:

1. Автоматизовані системи управління (АСУ) – системи, що працюють за участю людини-оператора в контурі керування.
2. Системи автоматичного керування (САК) – системи, що працюють без участі людини в контурі керування.

**ДВ** → У відповідності зі стандартами DIN (від нім. *Deutsches Institut für Normung eV* – німецького інституту зі стандартизації) САК класифікуються за:

1. За метою керування:
  - 1.1. Системи автоматичного регулювання, САР (за DIN 19226);
  - 1.2. Системи екстремального регулювання;
  - 1.3. Адаптивні системи автоматичного керування.
2. За видом руху інформації в керуючому пристрої:
  - 2.1. Замкнуті САК;
  - 2.2. Розімкнуті САК.
3. За формою представлення інформації (за DIN 19237):
  - 3.1. Аналогове керування (обробляються аналогові сигнали).
  - 3.2. Цифрове (дискретне) керування (обробляються цифрові сигнали).
  - 3.3. Двійкове керування (обробляються двійкові сигнали, які не є складовою частиною інформації, представленою у цифровій формі).
4. За видом обробки сигналів (за DIN 19237):
  - 4.1. Синхронне керування (керування, при якому обробка сигналів синхронізована з тактовим імпульсом);
  - 4.2. Асинхронне керування (керування здійснюване без тактових імпульсів, при якому зміна вихідних сигналів відбувається тільки за рахунок перемикання вхідних сигналів);
  - 4.3. Логічне керування (керування, при якому поле значень вхідних сигналів формує певне поле значень вихідних сигналів на основі зв'язків, виражених в термінах алгебри Буля);
  - 4.4. Послідовне керування (керування з примусовим покроковим процесом, при якому перемикання програми від кроку до кроку залежить від певних умов, виконуваних у ході процесу). ◀

Нехай управління (керування) задається вектором

$$\mathbf{Q} = (q_1, q_2, \dots, q_m), \quad (1.20)$$

де  $q_1, q_2, \dots, q_m$  – параметри управління (для систем “людина – машина” або “людина – складна ТС”) або параметри керування (для автоматичних систем).

Якщо збурення з боку зовнішнього середовища, задається вектором

$$\mathbf{G} = (g_1, g_2, \dots, g_r), \quad (1.21)$$

де  $g_1, g_2, \dots, g_r$  – параметри збурення системи.

Тоді **функція системи** (виробничої, технологічної) полягає в перетворенні входів  $\mathbf{Q}$  у виходи  $\mathbf{Y}$ :

$$\mathbf{Y} = (y_1, y_2, \dots, y_k), \quad (1.22)$$

яке задається знаком відображення множин  $\rightarrow$ , тобто

$$\mathbf{Q} \rightarrow \mathbf{Y}, \quad (1.23)$$

а властивості та поведінка системи залежить від внутрішніх

$$\mathbf{X} = (x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (1.24)$$

і зовнішніх параметрів:

$$\mathbf{G} = (g_1, g_2, \dots, g_r), \mathbf{Q} = (q_1, q_2, \dots, q_m). \quad (1.25)$$

Якщо вказані параметри  $x_i, i = \overline{1, n}, g_j, j = \overline{1, r}, q_k, k = \overline{1, m}$  є змінні в часі величини, тобто  $x_i(t), g_j(t), q_k(t)$ , то вони перетворюються у **фазові змінні** стану системи, які на відміну від параметрів приймають різні чисельні значення при прогресивній або регресивній поведінці (розвитку) системи.

Як результат маємо **динамічна систему**, тобто систему, яка розвивається у часі. Прикладом може бути **виробництво** – процес створення матеріальних і суспільних благ, необхідних для існування та розвитку соціуму (держави).

Знову повертаємося до процесного підходу. Зазначимо, що **процес** (process) – сукупність взаємопов'язаних або взаємодійних видів діяльності, яка перетворює входи на виходи [68], де вхід позначається знаком  $\mathbf{Q}$ , а вихід – знаком  $\mathbf{Y}$ .

У загальному випадку вхід  $\mathbf{Q}$  і вихід  $\mathbf{Y}$  виробничої системи є комбінований (див. табл. 1.2):

Таблиця 1.2

Типові входи і виходи канонічної моделі виробничої системи (ВС) [87]

Типи	Входи	Виходи
Матеріальний	Потоки матеріальних засобів, які належить переробці ВС або споживаних в процесі її функціонування: сировина, матеріали та напівфабрикати; деталі, вузли, агрегати і. т. ін.	Результат цілеспрямованої дії ВС: готові вироби, відходи сировини і матеріалів.
Енергетичний	Потоки електроенергії та пально-мастильних речовин, які підтримують ВС на заданому рівні продуктивності	Передача енергії від ВС до довкілля та відходи пально-мастильних речовин
Інформаційний	Потоки інформації, що керують діяльністю ВС або підлягає переробці ВС (планові завдання на виготовлення продукції, технічна та технологічна документація; інформація про формування входів і про результати експлуатації виробів)	Результат інформаційної діяльності ВС: технічні описи, інструкції, паспорта на продукцію; звітна документація
Кадровий	Інженерні та робітничі кваліфіковані кадри, підготовлені для роботи у ВС	Плановий рух та вибуття кадрів
Збурення	Неорганізований вхід, який ускладнює діяльність ВС: непередбачені зміни в технічній документації, невідповідність марки матеріалу, зриви термінів поставки матеріалів, відсутність робітників на виробничій дільниці тощо	Випуск бракованої продукції, порушення системи кооперативних поставок, забруднення довкілля виробничими відходами, недостовірна інформація тощо

Якщо під дією управління (керування)  $\mathbf{Q}$  і збурення  $\mathbf{G}$  виникають зміни властивостей системи або керованого об'єкта  $\mathbf{X}$ , то це називається перетворенням.

**Процес перетворення** – це сукупність операцій  $\alpha_i, i = \overline{1, n}$  внаслідок дії оператора (operator), який позначимо знаком  $\Theta$ . Роль оператора може виконувати певний алгоритм, технологія, рецепт. Виходи операторів – будь-яке діяння, дія, вплив.

Очевидно, що діяння операторів – потоки речовини, енергії та інформації (сигналів). Як показано в теорії ТС [42], як загальна назва всіх станів, властивостей і характеристик керованого об'єкта  $X$  може бути термін “*операнд*” (operand), який позначимо знаком  $\mathfrak{A}$ .

Якщо  $\mathfrak{A}_0$  і  $\mathfrak{A}_n$  – відповідно початковий та кінцевий стан системи, який заданий змінними операнда  $\mathfrak{A}$ , а  $\Theta$  і  $\Theta^*$  – відповідно вхідний оператор та оператор збурення, то формальна модель системи, яка керована зовні зображена на рис. 1.7.

Вказаний вище формалізм можна застосувати і для процесу управління виробництвом, тим паче, що нині відбувається перехід від класичної (“жорсткої”) індустріальної виробничої системи (“фордизм”) до постіндустріального гнучкого і мобільного комп’ютеризованого виробництва, яке здатне адаптуватися до різних варіантів одних і тих же операцій та до змінних умов.

До особливостей організації **процесу управління виробництвом** в умовах гнучких виробничих систем можна віднести:

- ❖ довгострокове планування виробничих ресурсів;
- ❖ комп’ютеризоване керування матеріальними запасами;
- ❖ управління людськими ресурсами;
- ❖ системне комп’ютеризоване керування виробничим процесом;
- ❖ **цільове управління якістю продукції** (системи гарантії якості, статистичний контроль за виробництвом та якістю продукції).

Будь-яка **система управління (керування)** має щонайменше три основні частини:

- 1) керуюча, кібернетична підсистема (людина і його центральна нервова система, комп’ютер, регулятор, контролер тощо);
- 2) керована підсистема (об’єкт управління, об’єкт керування);
- 3) канали прямого та зворотного зв’язку.



Рис. 1.7. Формальна модель системи, яка керована зовні

Об’єкт управління чи об’єкт керування, як відкрита система  $X$ , взаємодіє зі зовнішнім середовищем, яке чинить на нього збурювальну дію. Керуюча система,

маючи інформацію про мету управління (керування), тобто про бажаний стан об'єкта, формує керуючу дію (управління, керування), яке забезпечує відповідність реального стану об'єкта бажаному. Зазначимо, що керуюча система діє за тритактним принципом, що показано в ІМ.

**Прямий зв'язок** (від керуючої системи до керованої системи)  $\Rightarrow$  **Зворотний зв'язок** (від керованої системи до керуючої системи)  $\Rightarrow$  **Корекція прямого зв'язку**

Вказане реалізується за допомогою керуючої інформації (сигнали керування, команди, накази тощо). Надходження інформації спричиняє до зняття (зменшення) деякої апріорної (від лат. *a priori* – спочатку, до досліду) невизначеності та різноманітності, тобто зменшення ентропії (рис. 1.8). Це робить поведінку системи завбаченим.

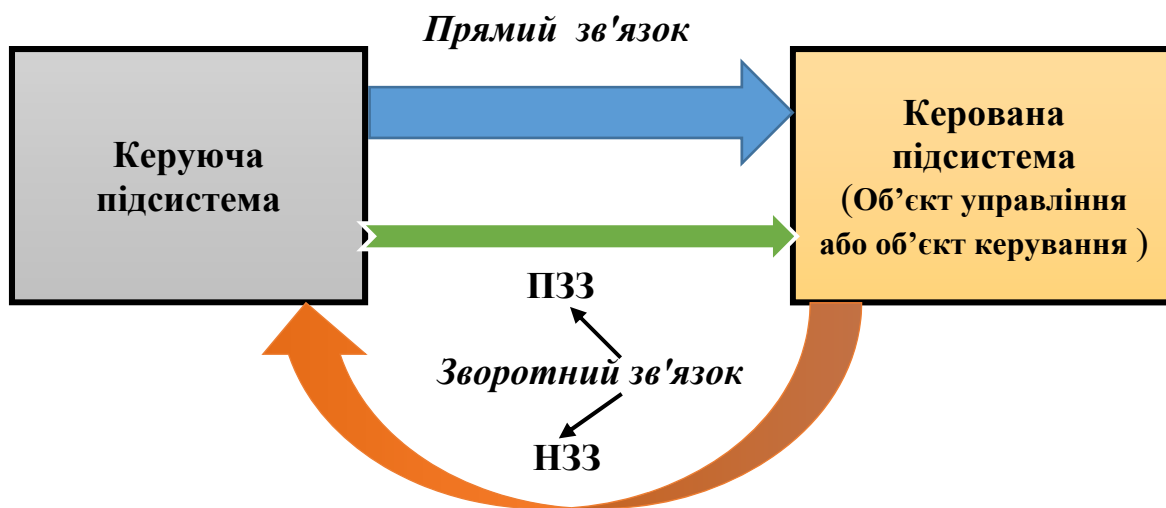


Рис. 1.8. Узагальнена структура системи керування

Отже, інформація знищує різноманітність, а **зменшення різноманітності є одним із головних принципів управління (керування)** (див. далі).

Надзвичайну роль для складних ТС відіграє зворотний зв'язок, який поділяється на негативний і позитивний.

**Зворотний зв'язок** – вплив вихідної величини системи керування на вхід цієї ж системи; в більш широкому сенсі – вплив результатів функціонування деякої системи на характер цього функціонування. Управління без зворотного зв'язку майже завжди призводить до відмови функціонування системи або до її катастрофи.

**Негативний зворотний зв'язок (НЗЗ)** – вид зворотного зв'язку, при якому зміна вихідного сигналу системи спричиняє до такої зміни вхідного сигналу, яке протидіє початковим змінам.

Якщо зворотний зв'язок може повністю компенсувати вхідний сигнал, система відноситься до **класу регуляторів**, а якщо вказана компенсація буде частковою, то це дозволяє стабілізувати вихідні параметри системи (**клас стабілізаторів**).



НЗЗ робить систему більш стійкою до випадкових змін параметрів, а це, зокрема, лежить в основі роботи регулятора Уатта й електронних підсилювачів.

У свою чергу, *позитивний зворотний зв'язок* (ПЗЗ) *спричиняє до такої зміни вхідного сигналу, яке сприяє подальшому відхиленню вихідного сигналу від початкового значення. Як результат, система активізується та швидко реагує на зміну зовнішніх параметрів, проте зростає нестійкість системи.* Прикладом можна назвати гетеродин (генератор високої частоти).

Зазначимо, що належить відрізнити поняття “*активізація*” (відноситься до дій, діяльності в сенсі підсилення) від поняття “*активація*”, зокрема активується банківська платіжна картка або комп’ютерна програма.

Далі познайомимся з двома фундаментальними поняттями теоретичної інформатики: інформаційна ентропія та принцип Ешбі. {Подоробиці є в оглядовій статті автора [110], див. Електронний ресурс: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vdgi\\_2016\\_1\\_21](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vdgi_2016_1_21)}.



Розглянемо кількісну міру невизначеності ситуації (станів системи) з  $n$  дискретними наслідками, яка визначається за формулою славетного американського електротехніка та математика, засновника кількісної теорії інформації **Клода Шеннона** (1916-2001) [215]:

$$H = - \sum_{i=1}^n p_i \cdot \log_2 p_i, \quad (1.26)$$

де  $H$  – *поточна невизначеність системи*, тобто *інформаційна ентропія*, яка визначається в бітах,  $p_i$  – імовірність  $i$  – го стану системи з  $n$  можливих ( $i = \overline{1, n}$ ).



Відомий англійський психіатр, спеціаліст з кібернетики та піонер з дослідження складних систем **Уільям Росс Ешбі** (1903-1972) використав різноманітність як міру складності системи, а також сформулював принцип необхідної різноманітності (*principle required diversity*), який має фундаментальне значення для кібернетики (від гр. *κυβερνητική* – мистецтво управління) [219].

Розглянемо відкриту систему (об’єкт керування) з вектором параметрів  $x$ , на яку діє зовнішнє середовище (збурення) з основним (а саме узагальненим) параметром  $\lambda$ , а з боку керуючої системи  $Z$  (регулятора) діє узагальнений параметр керуючих діянь  $\mu$  (рис. 1.9).

У реальному випадку вказані параметри змінюються в часі, тобто  $\lambda(t)$ ,  $\mu(t)$  і  $x(t)$ , тобто є змінними стану. Іншими словами, маємо замкнену систему керування (управління), на яку діють збурюючі в часі  $t$  впливи  $\lambda(t)$ , деякої множини  $V$ ,  $\lambda \in V$ . Впливи мають випадковий характер і внаслідок чого спостерігається розсіювання (дисперсія) параметра  $x \in X$  навколо заданого значення  $x_0$ . Очевидно, що  $x$  і  $x_0$  елементи множини  $X$  (випадкової величини), яка відображає стани  $x$  керованої системи  $X$ ,  $x \in X$ .

Нехай  $W$  – множина параметрів  $\mu$  ( $\mu \in W$ ) керованих дій (керуючих діянь). Тоді збільшення різноманітності (складності) і, отже, невизначеності збурюючих впливів зовнішнього середовища  $H(\lambda)$  спричинить до збільшення величини ентропії  $H(x)$ .

Очевидно, що для стабілізації вихідного параметра  $x$  на рівні  $x_0$  необхідно компенсувати зростання  $H(\lambda)$  і, як наслідок, зростання  $H(x)$ , відповідним збільшенням ентропії керуючих діянь  $H(\mu)$ .

Якщо  $H(x|\lambda)$  – умовна ентропія параметра  $x$  при відомому збуренні  $\lambda$ , то загальний і частинний випадки **рівняння У.Р. Ешбі** мають такий вигляд:

$$H(x) \geq H(\lambda) + H(x|\lambda) - H(\mu); \tag{1.27}$$

$$\min H(x) = H(\lambda) - H(\mu). \tag{1.28}$$

Принцип Ешбі стверджує, що **тільки різноманітність  $H(x)$  у керованій системі  $X$  (об’єкті керування) може зменшити різноманітність  $H(\lambda)$ , створювану збуренням  $V$  зовнішнього середовища.**

Принцип У.Р. Ешбі досить близький до **принципу адекватності** – властивість моделі забезпечувати задану ступінь ефективності управління (керування) процесом досягнення необхідної мети [128], тому, що для вирішення проблем, які стоять перед системою, вона повинна володіти різноманітністю (станів, функцій, можливостей тощо), тобто система повинна бути адекватною проблемі в сенсі різноманітності (складності).

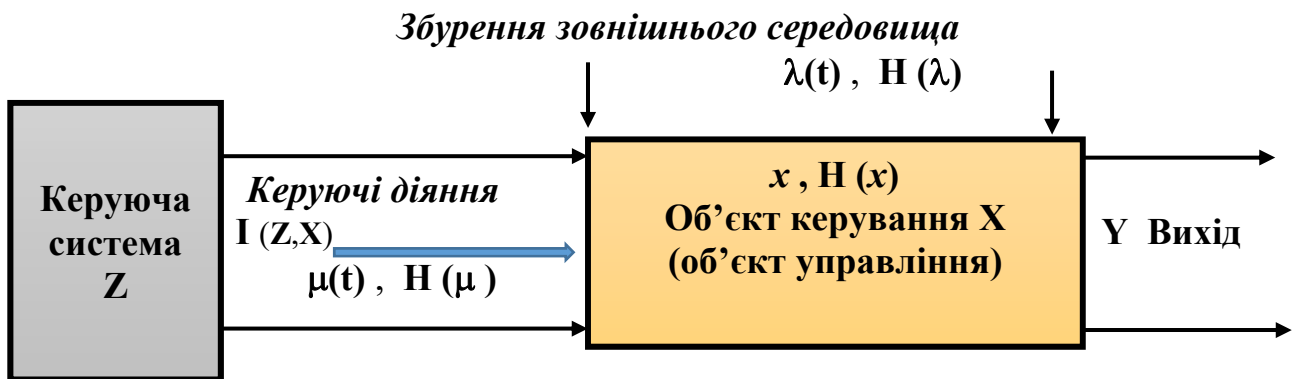


Рис. 1.9. Формальна модель замкненої системи керування (управління)

Нижче запропоновано математичне доведення автором рівняння У.Р. Ешбі [108].

**Дов. →** Вираз (1.27) отриманий У.Р. Ешбі, який аналізував джерела інформації від трьох гравців, що виконують різноманітні ходи. Отримаємо цей же вираз, розглядаючи відкриту систему (об’єкт керування) з вектором параметрів  $X$ , на яку діє зовнішнє середовище (збурення) з основним (узагальненим) параметром  $\lambda$ , а з боку керуючої системи  $Z$  діє узагальнений параметр керуючих діянь  $\mu$ . Змінний параметр  $x(t)$  залежать від змін зовнішнього середовища  $\lambda(t)$ ; тобто умовно подія  $x(t)$  залежить від події  $\lambda(t)$ . Це формалізується відповідно рівняннями:

$$\begin{cases} H(\lambda, x) = H(\lambda) + H(x|\lambda) \\ H(x, \lambda) = H(x) + H(\lambda|x) \end{cases} \Rightarrow H(\lambda) + H(x|\lambda) = H(x) + H(\lambda|x); (*)$$

Умовна ентропія керуючих дій не менше ніж умовна ентропія збурюючого зовнішнього середовища, тобто  $H(\mu|x) \geq H(\lambda|x)$ . Підставляємо отриману нерівність в (\*), маємо:  $H(\lambda) + H(x|\lambda) \leq H(x) + H(\mu|x)$ . Але умовна ентропія  $H(\mu|x)$  не більше ентропії керування, тобто  $H(\mu|x) \leq H(\mu)$ . Враховуючи це, отримаємо:  $H(\lambda) + H(x|\lambda) \leq H(x) + H(\mu) \Rightarrow$

$H(\mu) \geq H(\lambda) + H(x|\lambda) - H(x)$ , або  $H(x) \geq H(\lambda) + H(x|\lambda) - H(\mu)$ , що й потрібно було довести. ◀

Свій принцип У.Р. Ешбі сформулював так: “*тільки різноманітність може знищити різноманітність*” [219, с. 294]. Звідси очевидно слідує, що *різноманітність керуючої системи  $H(\mu)$  повинна бути не менша, аніж різноманітність об’єкта керування (управління)*, а саме:

$$H(\mu) \geq H(\lambda) + H(x|\lambda) - H(x) \quad (1.29)$$

Простим підтвердженням цього принципу є обов’язкова необхідність викладачу вищої школи мати знання, вміння, навички, досвід дискурсивної та креативної діяльності не менші (а бажано, значно більші), аніж у студентів.

А якщо буде протилежне, а саме різноманітність керуючої системи (регулятора) буде менша, аніж різноманітність об’єкта керування? Відповідь підтверджується практикою: при цьому об’єкт керування буде функціонувати, проте надійність цього процесу (а тим паче – живучість) буде під сумнівом. Справа в тому, що в даному випадку регулятор не має можливості повністю керувати ситуацією.

Дуже важливе зауваження: закон про необхідне розмаїття не випадково так обережно сформульований У. Р. Ешбі. Іноді його спрощують і формулюють так, що керівник повинен мати більшу різноманітність. Це не завжди вірно. Регулятор може мати розмаїття менше, ніж керована система. Це до речі майже завжди має місце бути на практиці. Просто в даному випадку він не має можливості повністю управляти ситуацією.

Із виразу (1.29) можемо зробити такі висновки:

1. Різноманітність керуючої системи  $H(\mu)$  повинна бути не менше різноманітності керованої системи (керованого об’єкта)  $H(x)$ . Це означає, що для управління (керування) складною (чи великою) системою, керуюча система повинна мати значну власну різноманітність, яка дозволить розширити можливості переробки інформації та прийняття рішень.
2. Для більш ефективного регулювання параметра  $x$  навколо заданого значення  $x_0$  необхідно намагатися збільшувати ентропію керуючої системи  $H(\mu)$  і зменшувати умовну ентропію  $H(x|\lambda)$ .
3. При відповідній величині  $H(\mu)$  можливе вироблення на кожне відхилення величини параметру  $x$  ( $x \in X$ ) відповідного параметру  $\mu$  ( $\mu \in W$ ) керованих дій (*корекція*), що приводить величину  $x$  в допустимі межі, які визначаються невеликим числом, а саме  $\varepsilon > 0$ :  $|x - x_0| \leq \varepsilon$ .
4. В ідеальному випадку відхилення (розсіювання, дисперсія) параметра  $x$  навколо заданого значення  $x_0$  не спостерігається за умови відсутності збурень зовнішнього середовища  $H(\lambda) = 0$  і всередині системи  $H(x|\lambda) = 0$ ,  $H(x) = 0$ :  $\Rightarrow H(\mu) \geq 0$ .
5. Необхідно усувати збурюючі дії на керуючу та керовану системи, підвищувати їх надійність та якість роботи. Тим самим, як наслідок цього, буде зменшуватися умовна ентропія  $H(\mu|\lambda)$  і  $H(x|\lambda)$ .

► Нехай відсутні збурення зовнішнього середовища, тобто  $H(\lambda) = 0$ . Тоді закон необхідної різноманітності відображає тільки один бік процесу керування – знищення

різноманітності об'єкта керування, яке є не що інше, як передача апостеріорної (отриманої в процесі досліду) інформації [25]. При цьому інформація, яка поступає від керуючої системи  $Z$  до об'єкта керування  $X$  (прямий зв'язок, рис.1.9) визначається виразом:

$$I(Z, X) = H(X) - H(X | Z). \quad (1.30)$$

Очевидно, що зворотний зв'язок (від об'єкта керування  $X$  до керуючої системи  $Z$ ) визначається виразом:

$$I(X, Z) = H(Z) - H(Z | X). \quad (1.31)$$

Вважати рівність прямого і зворотного сигналів [ $I(Z, X) = I(X, Z)$ ], отримаємо:

$$H(X | Z) = H(X) - H(Z) + H(Z | X) \quad (1.32)$$

З останнього виразу бачимо, що для мінімізації остаточної ентропії  $H(X | Z)$ , тобто для більш ефективного регулювання величини  $x$ , необхідно намагатися збільшувати ентропію керуючої системи  $H(Z)$  і зменшувати умовну ентропію  $H(Z | X)$ .

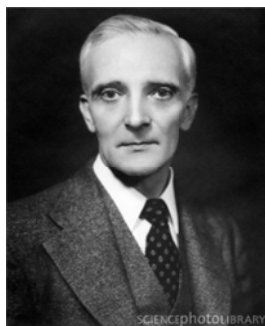
В ідеальному випадку при рівності  $H(X | Z) = H(Z | X) = 0$ , маємо  $H(Z) = H(X)$ , що означає незмінність параметра  $x = x_0 = \text{const}$ . ◀

**Складність системи** – властивість, яка визначається не тільки величиною системи, а й різноманітністю елементів, неоднорідністю їх властивостей і різною якістю прямих і зворотних зв'язків.

Другий бік процесу керування визначається **принципом необхідної складності**: складність керуючої системи для ефективного керування повинна бути не менша від складності об'єкта керування.

Під “**складністю**” тут розуміється кількість апріорної (до дослідної) інформації  $I(x)$ , яка зберігається в об'єкті керування  $X$ , або кількість апріорної інформації  $I(\mu)$ , яка зберігається у керуючій системі  $Z$ . За допомогою інформації  $I(x)$  формується структура об'єкта керування  $X$ , а за допомогою  $I(\mu)$  – керуючої системи  $Z$ .

Очевидно, для ефективного керування (управління) керуюча система  $Z$  повинна “знати” структуру об'єкта керування  $X$  за рахунок своєї складності. Без сумнівів, кількість інформації, яка необхідна для такого знання, повинна бути не меншою, ніж кількість інформації, яка зберігається у структурі об'єкта керування, тобто  $I(\mu) \geq I(x)$ .



Хід визначення кількості інформації  $I(x)$  викладено в [27] відомим французьким фізиком **Леонем Бріллюеном** (1889-1969), засновником сучасної фізики твердого тіла. Ми тільки наведемо кінцевий результат:

$$I(x) = \sum_{i=1}^m p_i \cdot \log_2 N, \quad (1.33)$$

де  $p_i$  – імовірності станів системи  $X$  (об'єкта керування),  $N$  – кількість усіх дозволених і заборонених станів системи,  $m$  – кількість дозволених станів системи.

Відповідно до сучасної теорії керування динамічними системами (Л.С. Понтрягін, М.М. Моїсєєв, В.С. Михайлов та ін.) математична модель керування будується на основі системного аналізу об'єкта керування та синтезу

алгоритму керування з метою отримання бажаних характеристик протікання процесу або реалізації цілей керування.

**П**→ Нехай  $x$  –  $n$ -мірний фазовий вектор деяких характеристик технічної керованої системи (ТКС), значення яких моделюються;  $f$  – деяка функція;  $t$  – час. Тоді  $\xi(t)$  –  $k$ -мірний ( $k \leq n$ ) **вектор збурень довкілля** (зовнішніх впливів), який може бути:

1) **стохастичним** (випадковим, імовірнісним) і задається випадковою вектор-функцією  $\xi(t)$  або щільністю розподілу ймовірностей  $f(x)$  неперервної випадкової величини  $X$ ,  $f(x) = F'(x)$ , де  $F(x)$  – інтегральна функція розподілу величини  $X$  [81];

2) **нечітким** (англ. fuzzy) і задається характеристичною функцією підмножини  $M$  універсальної множини  $R$  ( $M \subseteq R$ ), яка називається **функцією належності**  $\mu_M(x)$  Л. Заде [234], де:



$$M = \{ x, \mu_M(x) \mid x \in R \}. \quad (1.34)$$

**Лотфі Заде** (нар. у 1921 р.) є відомий американський математик і логік, засновник теорії нечітких множин (1965 р.).

3) **нестохастично невизначеним** в сенсі неповноти наших знань про досліджуване явище.

Виходячи з праці М.М. Моїсеєва [140], можна записати **математичну модель технічної керованої системи (ТКС)** у вигляді звичайного диференціального рівняння:

$$\frac{dx}{dt} = f[x, u(t), \xi(t), t], \quad (1.35)$$

де:  $x$  –  $n$ -мірний фазовий вектор деяких характеристик ТКС;  $u(t)$  – вектор-функція розмірності  $m$ , де  $m \leq n$ , яка має назву **керування**, або **керуючий вектор**, або **“вільний”** вектор-функція. ◀

Таким чином, **управління (керування)** – **особлива функція складних систем, спрямована на збереження її основної якості (тобто сукупності властивостей, втрата яких призводить до руйнування системи), або на виконання деякої програми, що забезпечує стійкість функціонування системи і досягнення нею певної мети.**

Очевидно, керування дозволяє кардинальним чином зменшити коливання параметрів системи, які вельми значні в системах з гомеостазом або з саморегулюванням. Це означає, що **керування є ускладнений спосіб забезпечення стійкості.**

Сучасні **автоматизовані системи керування виробництвом (АСКВ)** – використання комп'ютерів для керування процесом виробництва, зокрема використання керованих верстатів і роботів на підприємстві.

Більш ширше трактування АСКВ – це об'єднання системи автоматизованого проектування (САПР) і автоматизованої системи керування технологічними процесами (АСКТП).

Розглянемо блок-схему АСКВ (рис. 1.10).

Маємо вхідний вектор  $\langle X, \Lambda \rangle$ , де  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$  – вектор вхідних ресурсів,  $\Lambda = \{\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m\}$  – вектор збурень зовнішнього середовища. АСКВ формалізується вектором впливів  $U = \{u_1, u_2, \dots, u_k\}$ . Суб'єкти управління або особи, які приймають рішення (ОПР) здійснюють коригування  $Z$  вектора впливів  $U$  з метою уникнення браку продукції та підтримання її якості.

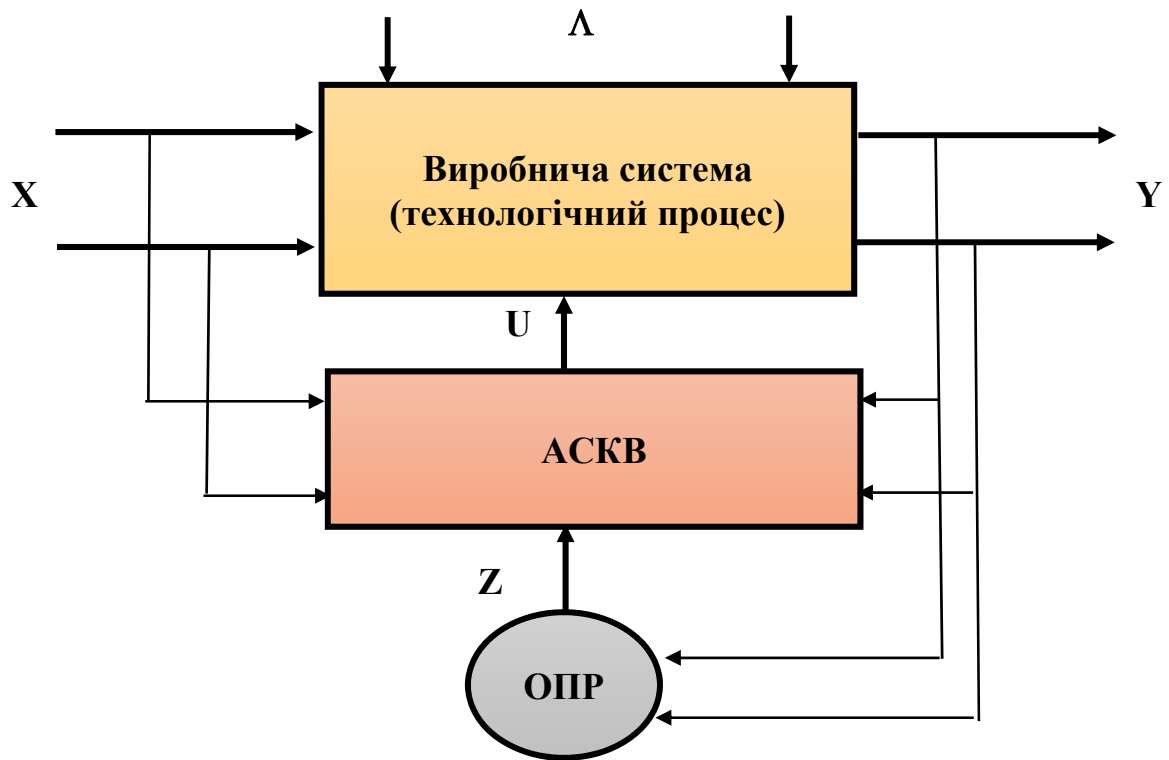


Рис. 1.10. Схема автоматизованої системи керування виробництвом

Передбачається, що між вхідними векторами  $\langle X, \Lambda \rangle$  і вихідним  $Y$  є певний зв'язок: функціональний  $Y = f(X, \Lambda)$ , статистичний, операційний (у вигляді неоднозначного відображення) і т. п.

Завдання ОПР: зробити систему управління технологічним процесом таким, щоб при наявності інформації про поточні значення  $(X, \Lambda)$ , домогтися таких значень  $Y$ , які влаштовують ОПР. Так, як на вектори  $X$  і  $\Lambda$  вплинути неможливо, то можна вплинути на значення керуючих впливів  $U = \Phi(X, Y)$ , що дозволить змінити значення вектора  $Y = F(X, \Lambda, U)$ . Для цієї мети служить коригуючий вектор  $Z$ .

## 1.7. Виробнича продукція, товари та послуги

Речовина. Сировина. Матеріали. Виробнича продукція (виріб). Товар. Невиробнича продукція. Класифікація видів продукції. Освітня продукція. Послуги. Характерні особливості послуг.

Природні неорганічні й органічні речовини є основою сировини, матеріалів і виробів.

**Сировина** – це продукція сільського господарства (бавовна, зерно, молоко тощо) і видобувної промисловості (вугілля, руда, щебінь тощо), а **матеріали** – це продукція переробної промисловості (цемент, папір, тканина, борошно, цукор тощо). Матеріали, яким на підприємстві технологічно надають певну форму – це **вироби** (мідний дріт, цегла, цвях, електродвигун тощо).

Вироби, або виробнича продукція – результат виробничого (технологічного) процесу. Стандартизована дефініція така: **продукція** (*product, products,*



*production*) – результат сукупності взаємопов'язаних або взаємодійних видів діяльності, яка перетворює входи на виходи [68].

З точки зору системи менеджменту якості, **продукція** являє собою *результат процесу як сукупності взаємопов'язаних видів діяльності або видів діяльності, що взаємодіють між собою*.

Продукція є результатом виробничої, господарської, економічної, освітньої і т. ін. діяльності та являє собою сукупність **продуктів (виробів)**. Іншими словами, **виріб** – предмет або набір предметів, що виготовляються на підприємстві, тобто є результатом виробничого процесу.

В економіці **виріб** – одиниця промислової продукції, кількість якої може обчислюватися в штуках (екземплярах).

Процес виготовлення продукції на виробництві має загальні й уніфіковані стадії технологічного процесу, кожна з яких включає в собі визначені технологічні (виробничі) операції. Взаємопов'язані стадії технологічного процесу виготовлення продукції представлені у вигляді схеми процесу мають ще назви “карта технологічного процесу”, “маршрутна карта”, або “схема послідовності операцій”.

Вказані документи репрезентують технологічну документацію (*technological documentation*) – комплекс текстових і графічних документів, котрі визначають окремо або в сукупності технологічний процес виготовлення або ремонту виробу (включаючи контроль і транспортування) і що містить необхідні дані для організації виробництва.

Зазначимо, що **маршрутна карта** – опис маршруту руху виготовлюваного продукту всередині цеху.

**Операційна карта** – опис переходів, інструменту та оснастки.

Карта технологічного процесу узагальнено зображує етапи процесу. Вона корисна для вивчення можливостей поліпшення якості, так як дозволяє зрозуміти, як фактично діє процес. Завдяки вивченню того, як пов'язані між собою стадії процесу, часто можна виявити потенційні джерела порушень.

Карти технологічних процесів можуть застосовуватися до будь-якого аспекту процесу від поставки матеріалів до стадій збуту або технічного обслуговування продукту (рис. 1.11).

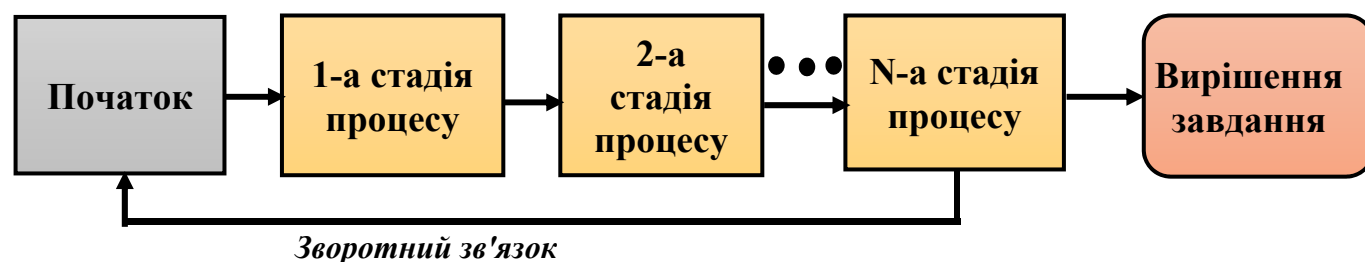


Рис. 1.11. Укрупнена схема стадій процесу виготовлення продукції

Зазначимо, що **послуги** – це цілеспрямована діяльність людини (особи, громадянина), організації, підприємства, закладів освіти, торгівлі, медицини,

побутового обслуговування тощо на користь (для задоволення) іншої особи або групи осіб (організації), результат яких споживається у процесі їх надання.

Аналогом продукції в галузі освіти є сформовані у студентів (учнів) знання, уміння, навички, а також досвід репродуктивної і творчої діяльності – **освітній продукт**, а навчальна діяльність викладачів (вчителів) має результат – **освітні послуги**.

Навчальні заклади здійснюють інформаційне обслуговування (від англ. *information service*), яке є органічним компонентом основної діяльності – здійснення навчально-виховного процесу. Безпосередньо інформаційну функцію виконують бібліотеки, а також Інтернет та інші засоби масової інформації та комунікації.

Товар являє собою економічну категорію, в яку переходить продукція при продажі. Іншими словами, виріб призначений для реалізації є **товаром**, а тому характеризується показниками величини, зовнішнього вигляду, ціни та іншими атрибутами.

**Товар** – продукт природи і людської праці або тільки людської праці у матеріальній і нематеріальній субстанції та у формі послуг, який завдяки своїм властивостям здатен задовольняти наявні чи передбачувані суспільні потреби і призначений для обміну і купівлі-продажу.

У теорії маркетингу **продукт** – це товар (матеріальний) або послуга (нематеріальний товар), які мають корисні властивості, різну форму та сутність.

**Виробнича продукція (виріб) ⇒ Реалізація ⇒ Товар ⇒ Купівля-продаж або обмін**

Відмінність (різниця) між продукцією і товаром така. Продукція завжди бере участь у виробничому процесі, а товар – ні. Продукція може перейти у форму товару, а не навпаки. Продукція має **собівартість**, а товар – **ціну**. Ціна товару вище собівартості на величину покриття невиробничих витрат.

**Невиробнича продукція (продукт) ⇒ Нематеріальний товар ⇒ Послуга ⇒ Споживач**

Продукція може бути таких видів:

- ❖ **Матеріальна продукція** (у вигляді матеріалів, матеріальних предметів, виробів тощо). Зокрема, виробничі продукти (товари) – це матеріальні результати трудової діяльності або виробничих процесів, що мають корисні (прагматичні) властивості та призначені для використання споживачем.
- ❖ **Інформаційна продукція** – сукупність продуктів (товарів) у вигляді перетворених інформаційних сигналів, які корисні для споживача.
- ❖ **Інформатизована продукція** – сукупність продуктів (товарів) вигляді символів, знаків певної мови та їх систем (знань), зафіксованих на паперових і електронних носіях інформації.



- ❖ **Енергетична продукція** – сукупність продуктів (товарів) у вигляді відновлюваних і невідновлюваних енергетичних ресурсів, які отримані та можливо організовані для виконання корисної дії.
- ❖ **Інтелектуальна продукція** – сукупність продуктів (товарів) у вигляді алгоритмів поведінки, комп'ютерних програм, словників, монографій тощо.
- ❖ **Духовна продукція** – сукупність продуктів (товарів) у вигляді складної системи психічних утворень, яка спрямована на духовні ціннісні орієнтації та реалізується в духовній діяльності (пізнавальній, естетичній, комунікативній), тобто в процесі засвоєння (сприйняття, інтеріоризації, створенні) духовних цінностей. Духовні ціннісні орієнтації можуть набути вищої форми – **духовні потреби**, тобто систему мотивів активності людини, які спонукають до духовної діяльності, яка визначається не прагматичними цілями, а спрямована на задоволення безкорисливих духовних потреб (у знаннях, спілкуванні, естетичному задоволенні).
- ❖ **Науково-технічна продукція** – сукупність продуктів (товарів), які є результатом творчої інтелектуальної діяльності, спрямованої на створення і використання знань в усіх галузях наук. Основними формами такої діяльності є науково-дослідні, дослідно-конструкторські, проектно-конструкторські, технологічні, пошукові та проектно-пошукові роботи, виготовлення дослідних зразків науково-технічної продукції, а також інші роботи, пов'язані з провадженням наукових і науково-технічних знань до стадії практичного їх використання. Як влучно виразився Френсіс Бекон “*Ми стільки можемо, скільки знаємо. Знання – сила*”.
- ❖ **Освітня продукція** – результат діяльності навчальних закладів, які здійснюють **освітні послуги**. Головна особливість ринку освітніх послуг полягає в тому, що вищі навчальні заклади (ВНЗ) виходять на ринок освітніх послуг із двома видами продуктів (товарів), об'єднаних загальним поняттям, – **освітній продукт**. Перший вид освітнього продукту – це знання, уміння, навички, досвід (репродуктивної та творчої діяльності), які “передаються” тим, хто навчається у процесі навчання, другий – це навчальний зміст у формі матеріалів – підручників, методичних матеріалів, монографій, відеодисків тощо, – що студенти можуть опанувати самостійно. Виробником освітнього продукту є ВНЗ, а споживачем – студенти.
- ❖ **Інші послуги**, тобто цілеспрямовані дії індивіда на користь іншої особи, результат яких споживається в процесі їх надання. Особливістю послуги є збіг у часі та в просторі процесів виробництва, реалізації і споживання її споживної вартості. Прикладами послуг, окрім освітніх, є транспортне обслуговування, зв'язок, будівництво, фінансові, інформаційні та комп'ютерні послуги, медичні послуги, страхування, роялті та ліцензування, інші державні, бізнес та персональні послуги, результати яких мають прояв у корисному ефекті.

З приводу останнього, зробимо дуже важливе зауваження. Як обґрунтував Ф. Котлер [102], **послугам** властиві чотири **характерні особливості**: невідчутність, невіддільність від свого джерела, непостійність якості, **незбережуваність**.

Проаналізуємо це на прикладі освітніх послуг:

1. **Невідчутність** (до часового моменту здійснення послуги). Послуги неможливо побачити, спробувати на смак, почути чи понюхати до моменту придбання. Щоб переконати клієнта придбати освітні послуги, навчальні заклади прагнуть формалізувати найбільш важливі параметри послуги та подати їх за можливістю наочно у вигляді державних стандартів освіти (освітньо-кваліфікаційних характеристик), навчальних планів і програм, форм, методів та технологій навчання, а також інформації про умови надання послуг і про кінцеві результати навчання (дипломи фахівців – бакалаврів, магістрів).
2. **Невіддільність від свого джерела**. На відміну від матеріального товару, який існує незалежно від наявності чи відсутності його джерела, освітня послуга невіддільна від свого джерела (викладача, експертної навчальної системи, ВНЗ), що надають їх. Особливість освітніх послуг полягає в тому, що процес їх споживання (використовування) збігається в часі із процесом їх надання. У свою чергу, технологія надання освітніх послуг передбачає активну взаємодію з їх споживачем – студентом. Очевидно, що будь-яка заміна джерела послуги невідворотно змінить процес і результат надання освітньої послуги, тобто змінить попит на послуги. Якість послуг в межах конкретного ВНЗ підвищується зі збільшенням номенклатури та якості професорсько-викладацького складу, матеріального та інформаційного забезпечення навчального процесу, а також обсягів власне самих освітніх послуг.
3. **Непостійність якості послуг**. Якість освітніх послуг коливається в широких межах залежно від їх виробників (постачальників), а також від часу і місця надання. Це пов'язане, по-перше, з їх з їх невіддільністю від суб'єктів-виконавців (викладачів, обслуговуючого персоналу, керівництва ВНЗ), по-друге, з неможливістю і недоцільністю встановлення жорстких стандартів на процеси і результати надання послуг, по-третє, з відмінністю споживачів послуг – студентів. Частково залежність якості освітньої послуги від викладача можна усунути (за виключенням емоційно-духовної сфери) при переході на *експертно-навчальні системи* (ЕНС) та інтелектуальні навчальні програми, які спроможні на таке [111]:
  - 1) генерувати навчальні завдання;
  - 2) розв'язувати завдання, які запропоновані студенту, використовуючи методи зображення (подання, “представлення”) знань про об'єкти ПГ;
  - 3) визначати стратегію і тактику ведення діалогу зі студентом;
  - 4) моделювати стан знань студента;
  - 5) самонавчатися на основі аналізу результатів взаємодії зі студентом.
4. **Незбережуваність**. Послугу неможливо зберігати для подальшого продажу або використання. Для освітніх послуг, насамперед, це означає неможливість заготовити послуги заздалегідь і складувати їх як матеріальний товар в очікуванні зростання попиту.

Як зазначає Ф. Котлер [102], в умовах сталості попиту незбережуваність послуги не є проблемою, бо можна легко завчасно належним чином укомплектувати організацію. А ось якщо попит коливається, перед фірмами послуг встають серйозні проблеми. Наприклад, з урахуванням потреби в перевезеннях у години пік підприємствам громадського транспорту приходиться мати набагато більше

транспортних засобів, ніж це було б необхідно при незмінному рівні попиту протягом усього дня.

## 1.8. Діяльність, мотивація та потреби

Діяльність. Відміна діяльності від поведінки. Неадитивний характер діяльності. Структура діяльності. Дія, операція. Три основні види діяльності. П'ять етапів діяльності. Мікроструктура діяльності. Мотивація. Потреба, мотив, мета та настанова. Ієрархія потреб за Маслоу. Значимість для людини реалізації потреби самовираження.

*Діяльність* – процес активної взаємодії суб'єкта з об'єктом, під час якого суб'єкт задовольняє будь-які свої потреби, досягає поставленої мети.

Діяльність характеризує свідому сторону особистості людини на відміну від її *поведінки*, яка має рефлекторний характер. Структура діяльності має такі основні компоненти: процеси, засоби, види, елементи та спонукування до діяльності.

У теорії діяльності (С.Л. Рубінштейн, О.М. Леонтьєв, В.С. Мерлін, Б.Ф. Ломов, Д. Н. Узнадзе та ін.) вважається, що діяльність має неадитивний характер, а саме інтегральний результат діяльності  $D$  не дорівнює арифметичній сумі складових дій  $d_i$ , тобто

$$D \neq \sum_{i=1}^n d_i \quad (1.36)$$

*Діяльність* є сукупність дій, кожна з яких має свою мету. У свою чергу, *дія* є складовою діяльності, основним елементом у структурі діяльності.

Суб'єкта спонукає до дії певний мотив (або сукупність мотивів). Кожна дія спрямована на досягнення певної мети суб'єкта. Предмет дії може бути матеріальним або ідеальним.

*Операція* (лат. *operatio* – дія, вплив) – це сукупність дій, спрямованих на розв'язання певного завдання.

У виробничому сенсі, “операція – дії” – це заходи, що виконуються за певним планом і спрямовані на вирішення якогось завдання, досягнення якоїсь мети або належить до кола функцій організації (підприємства, установи, окремого працівника тощо). Операції (як і дії) співвідносяться з потребами, мотивами та цілями.

*Структура діяльності* – це цілісна єдність предметних, фізіологічних і психологічних компонентів і відношень між ними, яка існує у будь-якій з трьох основних *видів діяльності*: навчальній, трудовій (професіональній), ігровій. Кожний з них визначається своїми мотивами, цілями і засобами.

Можна виділити основні п'ять *етапів діяльності* (макроструктура діяльності):

- 1) процес залучення в діяльність (спонукально-ціннісний етап);
- 2) процес цілепокладання;
- 3) процес проектування дій (прогностично-проективний етап);
- 4) процес здійснення дій (виконавчо-реалізуючий етап – способи, методи, засоби, результат);
- 5) процес аналізу результатів дій і порівняння їх з поставленими цілями.

Другий рівень психологічної структури діяльності – *мікроструктура діяльності*. Центральними поняттями цього рівня є “мотив” і “мета”.

**Мотив** (від фр. *motif* – спонукаюча причина, привід до будь-якої дії) – внутрішня рушійна сила, що спонукає людину до дії, до діяльності. У ролі мотивів можуть виступати біологічні, пізнавальні, соціальні, духовні та професійні потреби й інтереси, потяги й емоції, настанови й ідеали.

Отже, **мотив** – це системоутворювальний чинник діяльності.

Для позначення психологічних процесів, які спонукають і направляють поведінку людини на певні дії, предмети, умови або цілі використовується термін **мотивація** – внутрішня рушійна сила, що формується на основі потреб та спонукає (стимулює, спрямовує) людину до активності, дії, діяльності або певного типу поведінки.

Очевидно, складна діяльність полімотивована, тобто її спонукає багато мотивів, розташованих в ієрархічному порядку. Провідні мотиви здебільшого визначають спрямованість діяльності.

У теорії менеджменту обґрунтовано, що цілепокладання є першою функцією управління в соціальних системах, в основі якого є процес прийняття рішення [158].

Поняття **мети** (від гр. *meta* – слідом, за, після, через) має дуальний зміст (лат. *dualis* – двоїстий).

Частіше оперують поняттям **суб'єктивної мети** – ідеального, уявного передбачення результату діяльності, або уявного образу майбутнього.

Зрідка в публікаціях використовують поняття **об'єктивної мети** – усвідомленого, запланованого результату діяльності, тобто майбутнього реального стану системи, якого потрібно досягти та результати, які бажано одержати.

Відзначимо, **мета** має сенс *наміру*, на відміну від **цілі** – *об'єкту*, зокрема “стріляти в ціль”.

Дослідження О.М. Леонтєва, Б.Ф. Ломова, Д.Н. Узнадзе та ін. показали, що **мотив** – це функція спонукання, а **мета** – функція напрямку, причому мотив і мета каузально (лат. *causalis* – причинний) взаємопов'язані та складають своєрідний вектор діяльності “мотив – мета”.

Вказаний вектор може бути доповнений предметною через ситуацію **потребою**, а також **настановою**, тобто кінцевою стадією ситуативного розвитку потреби, коли вона предметно визначена і має безпосередній вихід у діяльність.

Тому мотив, як матеріальний або ідеальний об'єкт, що спонукає до діяльності є компонентом ланцюга “**потреба – мотив – мета – настанова**”. При цьому, конкретна ситуація може актуалізувати або предметити ту потребу людини із множини латентних (від. лат. *latens* – прихований, невидимий) потреб, для задоволення якої в даній ситуації є найкращі можливості (рис. 1.12).

**Потреба** – стан людської особистості, соціальної групи чи суспільства в цілому, що виражає необхідність у чомусь, залежність від об'єктивних умов життєдіяльності організму та діяльності людини (групи людей), а також є рушійною силою їхньої активності.

Із цього означення слідує, що розрізняють біологічні (фізіологічні), соціальні та духовні потреби.

Потреби реалізуються в процесі задоволення їх, активного освоєння предметів споживання, здійснювання послуг.

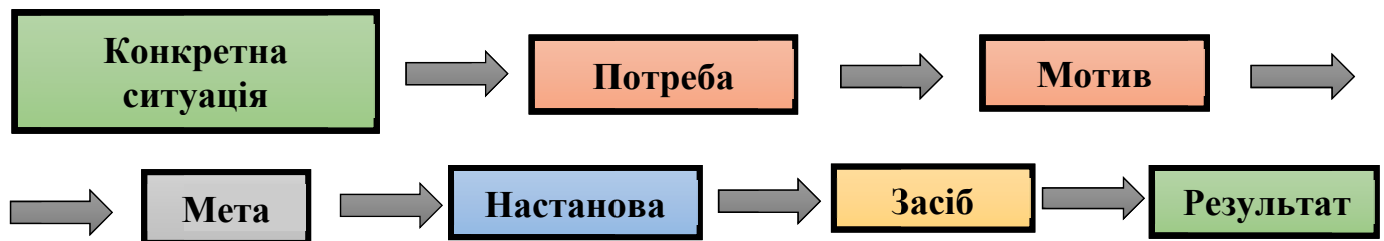


Рис. 1.12. Мікроструктура діяльності



Існує декілька теорій потреб. Однією з загально визнаних є теорія потреб, що створена в 40-их рр. ХХ ст. відомим американським психологом **Абрахам Маслоу** (1908 -1970). Він розбив основний спектр потреб на п'ять категорій та розташував їх у визначеній ієрархії [134].

В основі моделі потреб А. Маслоу лежать найбільш насущні потреби, які відносяться до класу *фізіологічних*: потреби в наявності повітря, води, їжі, житла тощо.

Вказані потреби притаманні всім тваринам, тому за теорією Маслоу *“людина – це тварина, що постійно чогось хоче”*.

У нашій інтерпретації ієрархія потреб А. Маслоу зображена на рис.1.13.

Другий якісний рівень ієрархії відповідає *потребам у безпеці та впевненості в майбутньому*.

**ДВ**→ У середині ХХ ст. під впливом величезної кількості практичних даних зазнала фіаско концепція *“нульового ризику”*, а європейська спільнота прийшла до нової концепції – *концепції “прийнятного ризику”*, відповідно до якої організація виробничого об'єкта повинна бути такою, щоб досягався такий рівень безпеки, який відповідає соціально-економічному рівню розвитку суспільства.

**Прийнятний ризик** – соціально, економічно та технічно обґрунтований ризик, який не перевищує гранично допустимий рівень. Іншими словами, це *ризик, зменшений до рівня, який організація може допустити, враховуючи свої законодавчі обов'язки і власну політику в галузі гігієни і безпеки праці* [105; 106].

**Прийнятність ризику** – прийняття потенційної вигоди від прибутку або тягаря збитків, які виникають з причини певного ризику. У міжнародному стандарті OHSAS 18001:2007 термін *“допустимий ризик”* замінений терміном *“прийнятний ризик”*.

У цьому зв'язку В.З. Шишков стверджує, що *“забезпечення ідеалу абсолютної безпеки нереально, і тому на кожному історичному рівні розвитку техніки та технології необхідно визначати раціональне співвідношення між ступенем безпеки (ризиком) і реальними технічними й економічними можливостями виробництва, а також соціально-економічними можливостями суспільства”* [216, с. 30].

Зазначимо, що орієнтиром для визначення рівнів прийнятного ризику в Україні є значення ризиків, які прийняті в економічно розвинених країнах, а саме:

- ✓ мінімальний ризик –  $R \leq 1 \cdot 10^{-8}$ ;
- ✓ незначний ризик –  $R \leq 1 \cdot 10^{-6}$ ;
- ✓ гранично допустимий ризик –  $R < 5 \cdot 10^{-5}$ ;
- ✓ припустимий ризик –  $1 \cdot 10^{-6} < R < 5 \cdot 10^{-5}$ ;
- ✓ високий (терпимий) ризик –  $5 \cdot 10^{-5} \leq R \leq 5 \cdot 10^{-4}$ ;
- ✓ недопустимий ризик –  $R > 5 \cdot 10^{-4}$ . ◀

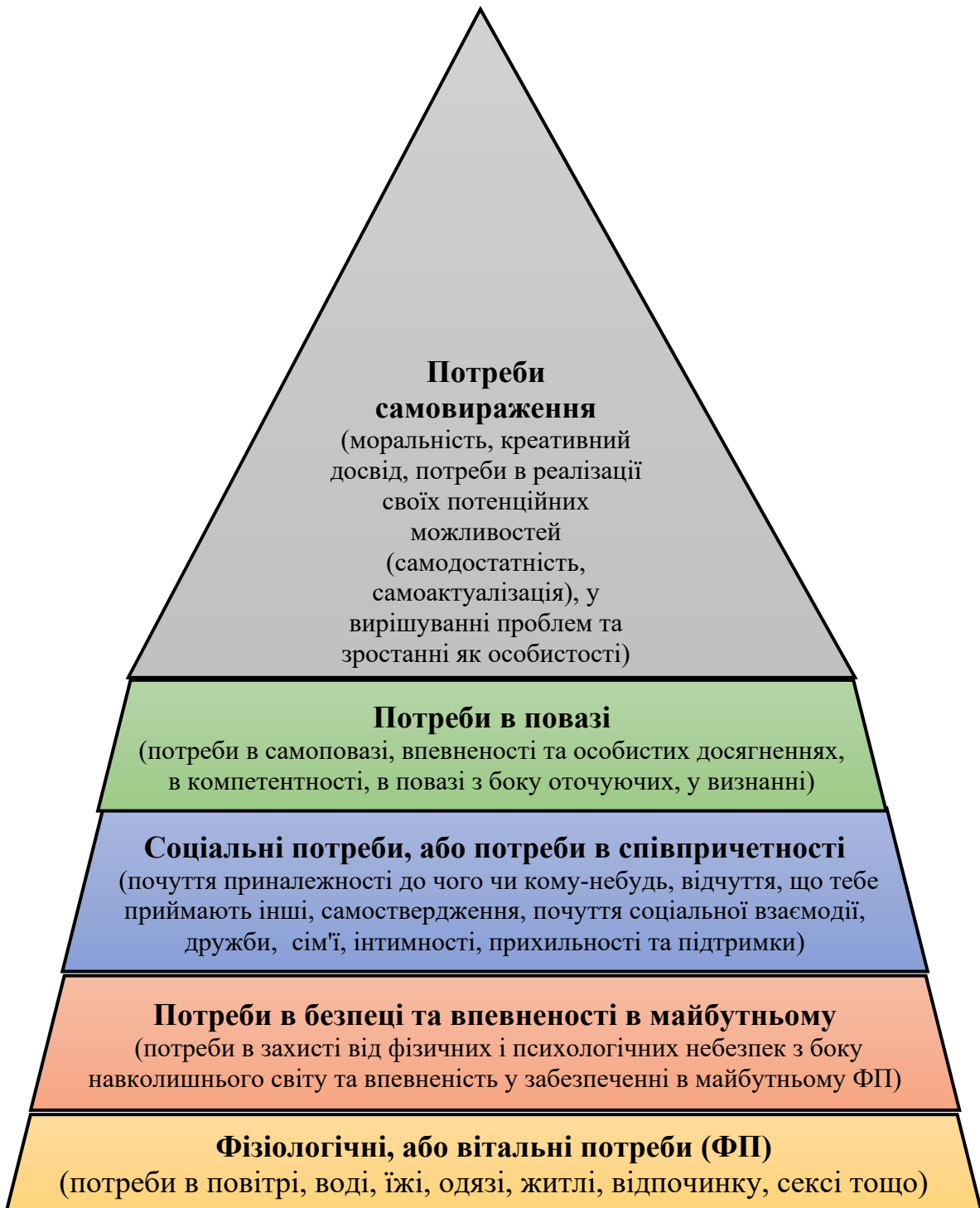


Рис. 1.13. Ієрархія потреб за Маслоу

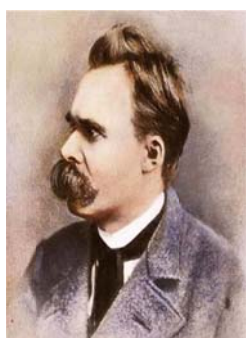
Третій якісний рівень визначає *соціальні потреби, або потреби в приналежності* до кого-небудь або чого-небудь, потреби підтримки, дружби, потреби співпричетності, бажання людей спілкуватися між собою, кохати та бути коханими тощо.

Четвертий рівень включає *потреби в особистих досягненнях, компетентності, повазі з боку оточуючих, соціальному визнанні* (в колективі, у певній сфері діяльності або на рівні держави чи світу в цілому). При цьому, інтерес до роботи, особисті досягнення, визнання та схвалення іншими результатів праці

(успіху), можливість кар'єрного чи творчого зростання є **мотиваторами**, тобто чинниками, які роблять позитивний вплив на мотивацію. При цьому, людина вже відноситься до класу **самоактуалізованих** та має чи формує в собі такі характерні риси: самоповагу і повагу до інших, доброзичливість і терпимість, інтерес до навколишнього світу, відповідальність, рефлексію тощо.



Зазначимо, що американський соціальний психолог **Фредерік Герцберг** (1923-2016) в 60-х рр. ХХ ст. розробив двофакторну модель мотивації, в якій розділив мотиви, пов'язані з факторами середовища проживання (“гігієнічні фактори”, або “чинники контексту”) та мотиватори, пов'язані з характером праці. При цьому він увів два рівні потреб: **потреба успіху**, яка задовольняється доведенням роботи до успішного завершення і **потреба влади** –



бажання діяти на інших людей. Як влучно виразився відомий німецький філософ, композитор і поет **Фрідріх Ніцше** (1844-1900): *“Що добре? – Все, що закріплює свідомість влади і саму владу людини. Що погано? Все, що впливає із слабкості”*.

П'ятий якісний рівень висвітлює потреби найвищого порядку. А. Маслоу визначив потребу в **самовираженні** як “бажання стати більшим, ніж ти є, стати всім, на що ти спроможний”. Далі вчений приводить такий чудовий вислів: *“Творець, здебільшого, вітає появу спонукання до творчості, а талановита людина насолоджується, розвиваючи свій талант”*.

Очевидно, що вершину моделі потреб складають потреби в реалізації потенційних можливостей людини та зростанні її як індивідуальності, формування її **статусу**, який означає важливість (“вагу”) та цінність людини в очах оточуючих, **перетворення особи в особистість**. При досягненні цього найвищого рівня реалізується потужний мотив, за якого людина працює переважно не заради грошей або не заради справляння враження на інших, але тому, що **усвідомлює значимість своєї праці та відчуває задоволення від самого її процесу, з метою залишити результати творчої праці нащадкам**. Вказане, переважно відноситься до науковців, викладачів, творчих інженерів, архітекторів, поетів, письменників, художників, композиторів, артистів тощо.

**ДВ**→ Наведемо декілька афоризмів, які підтверджують сказане:

- ❖ *“Найсерйозніша потреба є потреба пізнання істини”* (Г. Гегель).
- ❖ *“Немає радощів вище тих, які нам доставляє ... вивчення істин”* (Р. Бекон).
- ❖ *“Що означають найвитонченіші матеріальні насолоди в порівнянні з тим тихим, спокійним, але піднесеним почуттям, яке наповнює душу кожного істинно люблячого свою науку! Вдячність моя до обраної мною науки не вичерпається до кінця мого життя; я люблю свою науку, як може тільки любити син ніжну матір; що були б роки, проведені мною, якби в них не було тих солодких митей і годин, які доставляли мені заняття наукою...”* (М. І. Пирогов).
- ❖ *“Наука – це зовсім особлива сфера праці, що повертає до себе непереборною силою. Вчений закінчує свою дослідницьку діяльність, майже завжди тільки йдучи з життя”* (С.І. Вавілов).
- ❖ *“... Яку щасливу старість може досягти вчений, якщо не в'яне в ньому пристрасть до науки, якщо зумів він завоювати любов і повагу своїх учнів, якщо з найперших його кроків один тільки факел наукової істини висвітлює йому шлях, якщо помилкові світильники*



особистих інтересів, честолюбства, гордовитості, заздрощів не збивають його з шляху служіння науці, а через неї – народу” (М. М. Семенов).

- ❖ “Якщо ви хочете вести щасливе життя, ви повинні бути прив'язані до мети, а не до людей або до речей.... Прагни не до того, щоб домогтися успіху, а до того, щоб твоє життя мало сенс” (А. Ейнштейн).
- ❖ “Наукова діяльність тільки тоді плідна, коли вона становить зміст життя, її мету” (А. Ф. Іоффе). ◀

Таким чином, розглянута ієрархія потреб по різному впливає на мотивацію та поведінку людини. Очевидно, коли потреби найнижчого рівня задоволені хоча б частково, людина починає рухатися до забезпечення потреб іншого і не обов'язково наступного рівня ієрархії.

Суворі ієрархічна структура потреб означає, що **першочергові потреби** (фізіологічні, безпеки та захищеності) вимагають задоволення і, отже, впливають на поведінку людини раніше, ніж на мотивації почнуть позначатися **потреби другорядні** (більш високих рівнів). У кожен конкретний момент часу людина буде прагнути до задоволення тієї потреби, яка для нього є більш важливою або сильною. Перш, ніж потреба наступного рівня стане найбільш потужним визначальним фактором у поведінці людини, повинна бути задоволена потреба нижчого рівня.

Оскільки з розвитком людини розширюються його потенційні можливості, потреба в самовираженні ніколи не може бути повністю задоволена. Це, насамперед, відноситься до сучасних **інтелектуалів** (від лат. *intellegere* – розуміння) – високоосвічених людей, що займаються розумовою працею (це, насамперед, вчені, інженери, вчителі, лікарі, державні управлінці, бізнесмени, артисти та юристи). Очевидно, що процес мотивації їх поведінки через потреби психологічно безконечний. Вказану вище думку автор посібника виражає таким афоризмом: “Сучасний інтелектуал прагне неперервно самовдосконалюватися, проте досягнути максимального креативного, морального та духовного досвіду йому заважає обмеженість у часі життя” (М.П. Костюченко).

**ДВ→** Інтелектуал – людина розумової праці, начитана, освічена, а саме людина з високо розвиненим інтелектом. Класичними інтелектуалами рухали мотиви – тяга до знань, прагнення нести людям світло розуму, як стверджували їх апологети, або спрага мирської слави, суєтна цікавість і користолобство, в чому звинувачували їх противники. Головне, що ці свої соціальні цілі вони прагнули реалізувати переважно на терені інтелектуальної праці, що став їх основним видом діяльності.



Інтелектуал – новий соціокультурний тип людини, який не заперечує древніх; навпаки, наслідує їм. “Від темряви нецтва до світла науки не вийдеш, коли не перелічиш з жвавою любов'ю праці стародавніх”, – писав П'єр І французький (1251-1284). З часом, видатний англійський учений **Ісаак Ньютон** (1643-1727) підтвердив цю думку, написавши таке: “Якщо я бачив далі інших, то тому, що стояв на плечах гігантів”. Свою геніальність Ньютон пояснив афоризмом: “Геній є терпіння думки, зосередженої у відомому напрямку”.

Належить зазначити, що на противагу інтелектуалів, у XIX – першій половині XX століть у країнах з комуністичною ідеологією було широко поширено поняття “**інтелігент**” (від лат. *intelligens* – розуміючий, думаючий). Інтелігенція – соціальний прошарок, який складався з працівників розумової праці, які мали освіту та спеціальні знання в різноманітних науках, а також володіли моральністю та духовністю. У міру подальшої конвергенції та культурного взаємо обміну між країнами Заходу та Східної Європи, відмирання рудиментів радянського “безкласового” суспільства та формування “середнього класу”, відбулася редукція традиційного російського імперського поняття “інтелігенція” до поняття “інтелектуали” в його західно-європейському тлумаченні. ◀



## 1.9. Створення якості продукції або послуги

Якість. Вимоги до якості. Установлені вимоги. Спроможність. Задоволеність замовника. Градації вимог до якості продукції та послуг. Освітньо-кваліфікаційні та освітньо-наукові рівні вищої освіти. Кількісні рівні та міри якості. Піраміда якості. Функціональна, системна та ідеальна якість. Життєвий цикл виробу. Класи промислової продукції. Процес створення якості.

Відповідно до ДСТУ ISO 9000-2001, *якість (quality)* – *ступінь, до якого сукупність власних характеристик задовольняє вимоги* [68]. Міжнародний стандарт ISO 8402-86 стверджує, що *якість* – *сукупність властивостей і характеристик продукції або послуг, які надають їм здатність задовольняти обумовлені чи передбачені потреби людства* (власні характеристики будуть розглянуті далі).

У свою чергу, *вимога (requirement)* – *сформульовані потреба або очікування, загальнозрозумілі або обов'язкові* [68].

Вимоги можуть ставити різні зацікавлені сторони (замовники) у вигляді потреби або очікування. Це може бути вимога щодо продукції, вимога щодо управління якістю, вимога конкретного замовника. Термін “*загальнозрозумілі*” означає, що є звичаєм або загальноприйнятою практикою для організації, її замовників та інших зацікавлених сторін вважати потребу або очікування, про які йдеться мова, само собою зрозумілими.

*Установлена вимога* – *це вимога, сформульована, наприклад, у документі*. Зазначимо, що вимоги можуть ставити різні зацікавлені сторони. Для позначення конкретного типу вимоги можна вживати означальні слова. Наприклад, “вимога щодо продукції”, “вимога щодо управління якістю”, “вимога замовника” тощо. Як наслідок, впливає поняття “*спроможність*” (*ability*) – *здатність організації, системи або процесу створювати продукцію, яка відповідатиме вимогам до цієї продукції* [68].

*Задоволеність замовника (customer satisfaction)* – *сприйняття замовником ступеня виконання його вимог*.

Зазначимо, що претензії замовників є звичайно показником низького чи недостатнього рівня задоволеності замовника. Якщо замовник не пред'являє претензій, то це не значить, що він задоволений якістю продукції або якістю послуги. Різні вимоги розрізняються за якісними рівнями або градаціями.

*Градація (gradation)* – *категорія або розряд, присвоєні різним вимогам до якості продукції, процесів або систем, що мають те саме функціональне застосування* [68].

Зазначимо, що якщо встановлюють певну вимогу до якості, звичайно призначають градацію. Наприклад, роль градації виконує: клас авіаквитка, категорія готелю (кількість зірок), освітньо-кваліфікаційні рівні вищої освіти – характеристика вищої освіти за ознаками ступеня сформованості знань, умінь та навичок особи, що забезпечують її здатність виконувати завдання та обов'язки (роботи) певного рівня професійної діяльності.

**ДВ** → Освітньо-кваліфікаційні рівні вищої освіти України такі: *молодший бакалавр, бакалавр і магістр*.

*Бакалавр* – освітньо-кваліфікаційний рівень вищої освіти особи, яка на основі повної загальної середньої освіти здобула базову вищу освіту, фундаментальні та спеціальні вміння та

знання щодо узагальненого об'єкта діяльності (праці), достатні для виконання завдань та обов'язків (робіт), що передбачені для первинних посад у певному виді економічної діяльності, на експлуатаційному рівні професійної діяльності. Виробничі функції, що здійснюють бакалаври, пов'язані з обмеженою кількістю етапів циклу існування об'єктів їх діяльності. Завдання діяльності, які вони вирішують, припускають діяльність відповідно до заданого алгоритму, що містить процедуру часткового конструювання відповідних операцій. У законі України "Про вищу освіту" написано, що *бакалавр* – це освітній ступінь, що здобувається на першому рівні вищої освіти та присуджується ВНЗ у результаті успішного виконання здобувачем вищої освіти відповідної освітньо-професійної програми.

*Магістр* – освітньо-кваліфікаційний рівень вищої освіти особи, яка на основі освітньо-кваліфікаційного рівня бакалавра здобула повну вищу освіту, спеціальні вміння та знання, достатні для виконання професійних завдань та обов'язків (робіт) інноваційного характеру, що передбачені для первинних посад у певному виді економічної діяльності, на дослідницькому рівні професійної діяльності. Виробничі функції, що здійснюють магістри, пов'язані зі всіма етапами циклу існування об'єктів їх діяльності. Завдання діяльності, які вони вирішують, припускають діяльність за складним алгоритмом, що містить процедуру конструювання рішень. Освітньо-кваліфікаційний рівень магістрів передбачає, за умови виконання вимог стандарту вищої освіти щодо підготовки педагогічних працівників, спроможність до виконання педагогічних функцій, що пов'язані з узагальненими об'єктами їх діяльності. У законі України "Про вищу освіту" написано, що *магістр* – це освітній ступінь, що здобувається на другому рівні вищої освіти та присуджується ВНЗ (науковою установою) у результаті успішного виконання здобувачем вищої освіти відповідної освітньо-професійної або освітньо-наукової програми.

Відповідно Порядку присудження наукових ступенів (Постанова Кабінету Міністрів України від № 08.07.2016 р.) до *освітньо-наукових рівнів* вищої освіти України відносяться:

1. *Доктор філософії* – це освітній і водночас перший науковий ступінь, що здобувається на третьому рівні вищої освіти на основі ступеня магістра. Ступінь доктора філософії присуджується спеціалізованою вченою радою вищого навчального закладу або наукової установи в результаті успішного виконання здобувачем вищої освіти відповідної освітньо-наукової програми та публічного захисту дисертації у спеціалізованій вченій раді.
2. *Доктор наук* – це другий науковий ступінь, що здобувається особою на науковому рівні вищої освіти на основі ступеня доктора філософії і передбачає набуття найвищих компетентностей у галузі розроблення і впровадження методології дослідницької роботи, проведення оригінальних досліджень, отримання наукових результатів, які забезпечують розв'язання важливої теоретичної або прикладної проблеми, мають загальнонаціональне або світове значення та опубліковані в наукових виданнях ◀

Якість є однією з основних категорій, що визначає спосіб життя, соціальну та економічну основу для успішного розвитку людини і суспільства.

Якість поділяється на:

- 1) *відносну якість*, коли продукція (вироби, товар) або послуги класифікуються залежно від їх ступеня переваги, засобу порівняння або якісного рівня;
- 2) *кількісний рівень якості та міра якості*, коли точна технічна оцінка визначається кількісно.

Якість відноситься до промислових виробів, сільськогосподарської продукції, продукції морів і океанів тощо, а також послуг (якість діяльності).

Графічною моделлю якості є *піраміда якості*, яка відображає вплив якості на суспільство в цілому (рис. 1.14). Вказана модель є ієрархічною, тому має ознаки підпорядкованості та приналежності. Це означає, що нижчі рівні ієрархії, або рівні абстрагування, деталізуючи характеристики верхніх рівнів одночасно підкоряються вимогам (завданням, задачам) верхніх рівнів.

Суспільство зацікавлено в якості всіх складових (якісних рівнях) піраміди

якості:

Якість продукції ⇒ Якість діяльності ⇒ Якість підприємства ⇒ Загальна якість

Форми суспільного визнання в сфері якості добре відомі (табл. 1.3).

Якість промислової продукції (виробів, товарів) являє собою сукупність властивостей продукту праці, які обумовлюють його придатність задовольняти певні потреби у відповідності з його призначенням.

Властивості продукту праці (продукту виробництва), які утворюють його якість, проявляються при проектуванні виробу, його виготовленні та використанні (експлуатація, споживання). При цьому якість продукції Ю.Д. Аміров підрозділяє в залежності від рівня узагальнення властивостей на такі три різновиди [8]:

- **функціональна якість** – соціальна якість першого порядку, що визначається спеціалізацією або призначенням конкретного продукту праці (виробництва) і його природними властивостями;
- **системна якість** – соціальна якість другого порядку, що визначається рівнем суспільних затрат, втілених у виробі, тобто його вартістю;
- **ідеальна якість** – соціальна якість третього порядку, що притаманна не реальним, а абстрактним виробам (наприклад, уявного продукту праці, що приймається за еталон, базу для порівняння і т. п.).

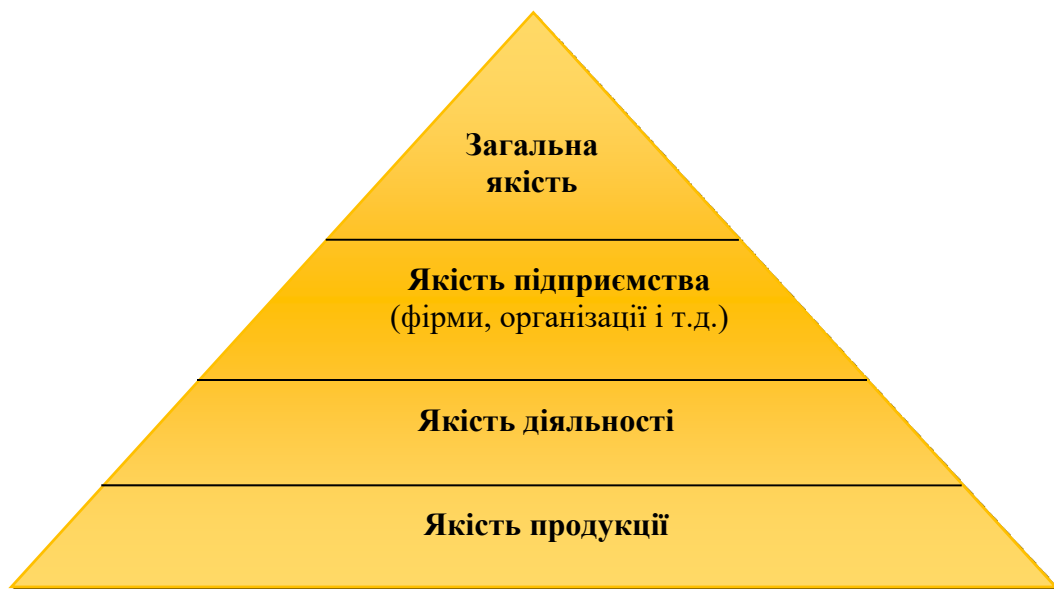


Рис.1.14. Піраміда якості [175]

Проектування (створення) виробу, його виготовлення та використання (експлуатація, споживання) відповідає загальним закономірностям розвитку будь-якої технічної системи. У загальному випадку, **розвиток** (*development*) **ТС** – спосіб існування системи в межах метасистеми, що пов'язаний з її перебудовою, яка супроводжується утворенням якісно нових просторових, інформаційних і часових структур.

В економічних дослідженнях розглядається моделі розвитку техніки і конкретних виробів, які мають назву “*науково-технічний цикл*” і “*життєвий цикл*”.

Таблиця 1.3.

Форми суспільного визнання досягнень у сфері якості на базових рівнях піраміди якості [175]

№ з/п	Рівень ієрархії	Об'єкт управління (ОУ)	Компоненти об'єкта управління	Базовий механізм управління якістю	Форма суспільного визнання
1.	Якість продукції	Готова продукція	Якість виробу; Якість сервісу	Контроль відповідності	Сертифікат відповідності на продукцію
2.	Якість діяльності (виробництва)	Виробництво	Якість обладнання; Якість технологій; Якість виробничих процесів; Якість умов праці; Якість (кваліфікація) робітника	Система якості (СЯ)	Сертифікат відповідності на систему якості
3.	Якість фірми (виробництва, організації)	Фірма (виробництво, організація, установа)	Якість системи управління; Якість оснащення фірми; Якість керівників; Якість персоналу	Загальне управління якістю (TQM)	Премії якості
4.	Загальна якість (якість суспільства)	Суспільство	Якість культури; Якість політико-правової системи; Якість економічної системи; Якість інформації; Якість науки і техніки; Якість життя		

Вказані моделі описують період часу від одного стрибка в розвитку техніки (виробу) до іншого, причому цей період включає ряд різних за характером фаз [221]. Зокрема, *життєвий цикл виробу (продукції)* має такі послідовні етапи [222]:

- 1) виникнення технічної ідеї;
- 2) науково-дослідна робота (НДР): отримання технічного завдання, технічні та економічні дослідження, рішення про розробку виробу;
- 3) концептуальні дослідження;
- 4) проектування, дослідно-конструкторські роботи (ДКР);
- 5) підготовка експериментального виробництва;
- 6) виготовлення експериментального зразка та його випробування;
- 7) рішення про серійне виробництво;
- 8) коригування конструкторської документації;
- 9) підготовка серійного виробництва: технологічна підготовка, конструювання оснащення, виготовлення оснащення, організаційна підготовка;
- 10) виробництво настановної серії;
- 11) випробування настановної серії;

- 12) коригування креслень, оснащення;
- 13) серійне виробництво продукції;
- 14) поставка;
- 15) монтаж на місці, налагодження;
- 16) експлуатація (використання) або споживання продукції;
- 17) обслуговування продукції;
- 18) модернізація продукції;
- 19) утилізація продукції.

З метою отримання класів продукції, які в свою чергу поділяються на певні групи, доцільно використати процедуру **декомпозиції** – операція умовного розділення (розчленування) системи на підсистеми (рівень 1), потім розділення отриманих підсистем на менші за величиною підсистеми (рівень 2) і т. п., з отриманням елементів на нижньому рівні (рівень *n*) зі збереженням ознаки підпорядкованості (належності).

У результаті декомпозиції отримуються різні групи, які входять у два класи продукції – продукція, що витрачається при використанні і продукція, що витрачає свій ресурс. Таким чином отримують класифікацію промислової продукції (ПП), що наочно зображено на рис. 1.15.

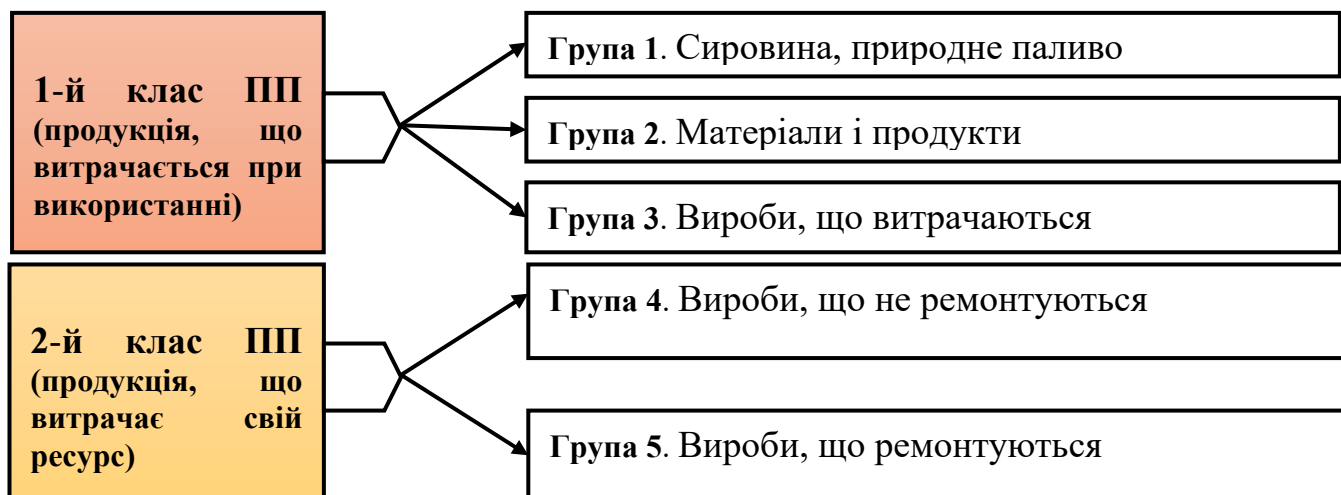


Рис.1.15. Класифікація промислової продукції (ПП) [180]

У стандарті серії ISO 9000 розмежовують вимоги до систем управління якістю і вимоги до продукції, в стандарті ISO 9001 встановлені вимоги до систем управління якістю, а в стандарті ISO 9004 є настанови щодо поліпшення діяльності [68; 69; 70]. При цьому застосовується методологія діяльнісного і процесного підходів, які діють тільки в системних об'єктах.

**Процес створення якості** має компоненти, які зображені на рис.1.16.

До етапів створення якості можна віднести такі:

- Етап 1. Усвідомлення потреби.
- Етап 2. Інтерпретація потреби. Виявлення вимог до якості.
- Етап 3. Проектування продукції з необхідною якістю.
- Етап 4. Реалізація вимог до якості продукції, що випускається.
- Етап 5. Реалізація вимог до якості товару (послуги).
- Етап 6. Ремонтпридатність виробу (товару).

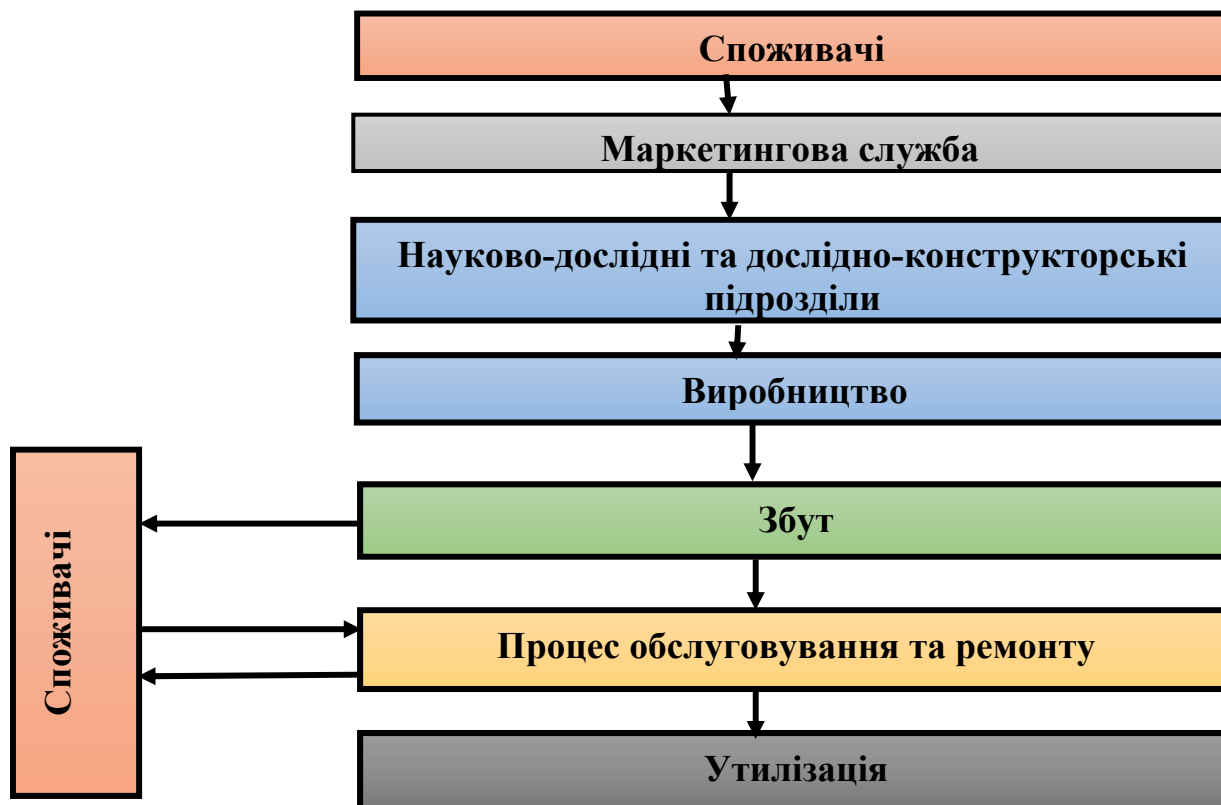


Рис 1.16. Укрупнений процес "створення якості"

**ДВ** → Розглянута вище інформація про категорію "якість" відноситься до типу *релевантної інформації* (від лат. *relevo* – піднімати, полегшувати). Ознака релевантності накладає певні обмеження на сутність інформації. Узагальнюючи уявлення з різних джерел, можна вважати, що "релевантна інформація", це [110]:

- доречна інформація, яка відноситься до певної справи, встановлена під конкретну теоретичну задачу чи практичне завдання;
- актуальна інформація для конкретного завдання, мети й періоду часу;
- це інформація, що найбільш точно відповідає запиту;
- це інформація без інформаційного шуму;
- це те, наскільки контент (англ. *content* – вміст), а саме текст, рисунки, графіки, таблиці тощо, задовольняє користувача;
- це така інформація, яка не є основою для прийняття рішення, хоча може вплинути на зміст рішення. ◀

Таким чином, аналіз теоретичних положень теорії якості та релевантної інформації дозволяє викласти деякі попередні **висновки**:

- 1) якість в діяльності людини (професійній і буденній) повинна бути і є головним чинником;
- 2) для створення і забезпечення високої якості необхідно високоякісна сировина, матеріали тощо;
- 3) відповідно до закону збереження, створення високої якості продукції пов'язано з наявністю та підтриманням **ресурсів** (матеріальних, фінансових, часових, людських тощо). Зокрема, спроба забезпечити високу якість продукції при обмежених ресурсах може викликати необоротно важкі наслідки;

- 4) вимоги до якості продукції та послуг регламентуються державними стандартами;
- 5) висока якість забезпечується, зберігається і вдосконалюється культурою особистості за умови, коли людина навчається, виховується і розвивається в суспільному середовищі справжньої уваги і глибокої поваги.

---

## 1.10. Методика оцінювання якості фахової (професійної) діяльності

---

Принцип Пітера. Кваліфікація. Компетентність. Компетенція. Рівні компетентності. Діапазони рівнів компетентності та завдання професійної діяльності. Методика визначення кількісного рівня фахової компетентності студента (фахівця).

---

Розглянемо у скороченому варіанті методику оцінювання якості професійної підготовки студентів технічних спеціальностей до майбутньої професійної діяльності за фахом або рівня підготовки відповідних фахівців шляхом обчислення рівнів компетентності [117] (стаття автора у повному вигляді є в електронному ресурсі [www.nbuu.gov.ua/old\\_jrn/Soc\\_Gum/...3/Kostiuch.htm](http://www.nbuu.gov.ua/old_jrn/Soc_Gum/...3/Kostiuch.htm)).

П→ Висока динаміка сучасного виробничого та соціально-економічного середовища, відносно швидка зміна технічних систем, виробничих технологій, організації та умов виробництва призводить до того, що закінчення ВНЗ та отримання випускником диплома будь-якого освітньо-професійного рівня (бакалавр, магістр) ще не гарантує належного й ефективного виконання ним своїх посадових обов'язків на конкретному робочому місці, а це вимагає безперервної самоосвіти та регулярного підвищення кваліфікації з метою уникнення наслідків *принципу Пітера*, що відображає факт відставання рівня фахової (професійної) підготовки працівника від сьогоденних, а тим більше – перспективних вимог до виробничих технологій, змісту та характеру праці, результатів науково-технічного прогресу [161].

**Кваліфікація** (від лат. *qualis* – якої якості + *facere* – робити) – підготовленість працівника (бакалавра, магістра) до виконання посадових обов'язків, тобто це *потенційна здатність* (можлива, прихована) працівника виконувати завдання та вирішувати проблеми, які відносяться до його **компетенції** (від лат. *competentia* – сфера повноважень чи видів діяльності).

У законі України “Про вищу освіту” під “*кваліфікацією*” розуміється офіційний результат оцінювання і визнання, який отримано, коли уповноважена установа встановила, що особа досягла компетентностей (результатів навчання) відповідно до стандартів вищої освіти, що засвідчується відповідним документом про вищу освіту [82]. Зазначимо, що кваліфікація – це свідоцтво про вищу професійну освіту.

У свою чергу, **компетентність** (від англ. *competence* – здатність, спроможність, уміння) – це *актуальна здатність* підготовленого працівника ефективно та результативно виконувати фахові обов'язки, посадові функції та завдання, які входять до його *компетенції* і відповідають наявному освітньо-кваліфікаційному рівню вищої освіти.

У законі України “Про вищу освіту” під “*компетентністю*” розуміється динамічна комбінація знань, вмінь і практичних навичок, способів мислення, професійних, світоглядних і громадянських якостей, морально-етичних цінностей, яка визначає здатність особи успішно здійснювати професійну та подальшу навчальну діяльність і є результатом навчання на певному рівні вищої освіти [82].

Звідси випливає, що поняття “*кваліфікація*” (спроможність, здатність індивідуума до професійної діяльності) має менший обсяг ніж поняття “*компетентність*” (обґрунтована можливість актуалізувати та реалізувати на практиці відповідно до діючих стандартів мотиваційні, змістові та процесуальні компоненти професійної діяльності). Дійсно, в стандарті ISO 9001:2015 зазначено, що персонал, залучений до робіт “...повинен бути компетентним, тобто мати належні освіти, професійну підготовку, кваліфікацію та досвід” [69, с. 12].

Компетентність базується на інтегрованих чи синтезованих особистих знаннях, уміннях, навичках і набутому досвіді, що реалізуються через дискурсивне та креативне мислення, в

результаті чого працівник виконує дії нормативно, ефективно, продуктивно, результативно та якісно.

Термін *досвід* (дискурсивний і креативний) будемо розуміти як інтуїтивні знання, уміння та здібності, які лежать на найбільш глибокому, неусвідомленому рівні та відтворюються як інтуїтивний творчий акт, миттєве осяяння або інсайт.

Закон України про вищу освіту трактує компетентність значно ширше, включаючи соціально-психологічні та морально-духовні сфери діяльності людини: **компетентність** – сукупність систематизованих знань, умінь і практичних навичок, способів мислення, професійних, світоглядних і громадянських якостей, морально-етичних цінностей, інших компетентностей, здобутих у ВНЗ у відповідній галузі знань за певною кваліфікацією (*галузь знань* – основна предметна область освіти і науки, що включає групу споріднених спеціальностей, за якими здійснюється професійна підготовка).

Очевидно, що професійна компетентність є актуальною здатністю працівника виконувати конкретне завдання відповідно до національних стандартів якості. Це спонукає нас до виділення для конкретного індивідуума, що розвивається як фахівець, певних кількісних **реперних рівнів компетентності** (від. фр. *repere* – мітка, позначка, значок), які відповідають завданням, що послідовно ускладнюються та відповідним алгоритмам фахової (виробничої) діяльності. Зазначимо, що стандарти вищої освіти побічно установлюють для кожного конкретного фахівця три рівні професійної компетентності відповідно до ступеневого ускладнення алгоритмів діяльності, а також завдань діяльності, які їх випереджують: стереотипні, діагностичні й евристичні завдання діяльності [100].

У цьому зв'язку, виникає питання: *скільки діапазонів рівнів професійної компетентності потрібно виділити відповідно до рівнів кваліфікації, які б відповідали ступеневому ускладненню алгоритмів діяльності?* Відповідь на це питання не є тривіальним тому, що воно розглядається в межах псевдофізичної логіки, в полі якої аналізуються тільки позачасові якісні психологічні характеристики пам'яті, мислення, волі, професійного й управлінського досвіду.

Припустимо, що ми маємо репрезентативну вибірку фахівців, які складають організаційну систему  $S$ . Кожний із фахівців розглядається як активний, самоорганізуючий елемент. Тоді повинна існувати така мінімальна кількість  $N$  функцій активних елементів, які реалізуються на всіх діапазонах рівнів та визначаються потужністю множини  $\Phi$ , яка створює необхідну різноманітність:

$$(\forall \Phi \in S) \exists N (card \Phi \geq N) \Rightarrow S \in G, \quad (1.37)$$

де  $G$  – повна множина самоорганізуючих елементів.

За умови наявності трьох діапазонів рівнів компетентностей ( $Y = 3$ ), для кожного із яких реалізується  $K$  рівномірних виробничих функцій, складність такої простої системи мінімальна:

$$C_{min} = \log K^Y = Y \log K = -Y \log p_k, \quad (1.38)$$

де  $p_k = 1/K$  – імовірність стану певного діапазону рівнів компетентності.

У загальному випадку ймовірності станів кожного із діапазонів рівнів системи різні, тобто  $p_k = 1/K \neq const$ , а значить:

$$C = -Y \cdot \sum_{i=1}^k p_i \cdot \log p_i, \quad de C > C_{min}. \quad (1.39)$$

Отже, раціонально виділити три діапазони рівнів професійної компетентності (ДРПК): **базовий, поглиблений і творчий**, які відповідають діапазонам задовільних, добрих і відмінних оцінок в 100-значній інтервальній шкалі успішності навчання. Вказаним діапазонам будуть



відповідати відповідно *стереотипні, діагностичні та евристичні* завдання професійної діяльності.

Очевидно, що запропоновані діапазони рівнів не претендують на семантичну вичерпну повноту та завершеність, а є тільки можливим варіантом підходу до оцінювання результатів професійної діяльності фахівців. Підтвердженням даного умовиводу є побудована Д. Россом у структурному аналізі функціональна модель SADT, яка частіше всього обмежується трьома рівнями абстракції [128].

Оцінювання рівнів компетентності здійснювалося в 100-значній рівномірній інтервальній шкалі. Бальна шкала ECTS (Європейської системи трансферу та акумуляції кредитів), яка є обов'язковим євростандартом Болонського процесу, не може бути взята за основу тому, що вона відтворює кумулятивний (накопичувальний) ефект результату навчання студента. Ось чому вона відноситься до типу нерівномірних шкал.

Нами показано, що 100-значна інтервальна шкала  $\mathcal{V}$  є ефективним інструментом об'єктивного оцінювання таких компонентів фахової компетентності, як знання та вміння. Показано, що ступінь структурованості та усвідомленості знань суб'єктом може бути різною, а це означає, що в його довготерміновій пам'яті сформовані когнітивні структури, які відображають як *чіткі* особисті знання (поверхневі чи глибинні) так і *нечіткі* (розпливчасті, невизначені, наближені, неточні, безсистемні) відповідно до теорії нечітких множин Л. Заде.

Проведений нами експеримент показав, що нечіткість проявляється у тій зоні базової кваліметричної шкали  $\mathcal{V}$ , яка відповідає максимальній дисперсії  $D^{max}$  повторного оцінювання знань фахівця. Виявлена сутність чітких і нечітких особистих знань (ОЗ), обґрунтовані їх стратифіковані зони та критичні межі (рис.1.17).

У педагогічну кваліметрію нами впроваджена психологічна процедура квантифікації знань, яка дозволяє здійснити вибір шкали при оцінюванні або самооцінюванні знань [107].

**Квантифікація знання** являє собою процес зведення зінтегрованих якісних латентних ознак знання (змістовість, повнота, глибина та ін.) до емпіричної кількісної ознаки (рівень знання), шляхом уведення спеціальних **квантифікаторів** (ординальних або кардинальних чисел). Значення квантифікатора у вигляді ординального числа ("бал") реалізується у порядковій шкалі, а кардинальними числами оцінюються рівні особистих знань у 100-значній рівномірній інтервальній шкалі.

Експериментально показано, що необхідною умовою, яка дозволяє інтерпретувати значення квантифікаторів як дійсні числа ( $\mathbb{R}$ ) при оцінюванні рівнів знань  $L_i, i = \overline{1, n}$ , ( $L_i \in \mathbb{R}$ ) в інтервальній шкалі, є нормальний розподіл оцінок респондентів за класами еквівалентності.

Таким чином, якість знань фахівця (студента) можна оцінити за певними кількісними рівнями, співвіднесеними зі "слабкою" метричною шкалою – 100-значною шкалою інтервалів.

Ми обґрунтували доцільність використання 100-значної інтервальної шкали як ефективного інструмента об'єктивного оцінювання таких елементів компетентності, як особисті знання та вміння, а також розробили методику кількісного оцінювання професійної компетентності фахівця (студента) на основі використання 100-значної інтервальної шкали, "жорстких" і "м'яких" моделей тестування, методу факторизації та процедур кваліфікаційного випробування (при виконанні фахівцем серії кваліфікаційних пробних робіт).

"Жорсткі" моделі тестування призначені для оцінювання рівнів  $L_i$  (levels) елементів компетентності теоретичного типу (теоретичних знань і вмінь) за формулою:

$$L = (\alpha / \beta) \cdot 100\%, \quad (1.40)$$

де  $\alpha$  – число правильних відповідей фахівця на всі запитання, які входять у визначене завдання тесту або (і) число правильно виконаних операцій;  $\beta$  – загальне число запитань тесту або загальне число суттєвих операцій діяльності (всіх дій, що ведуть до досягнення мети діяльності).

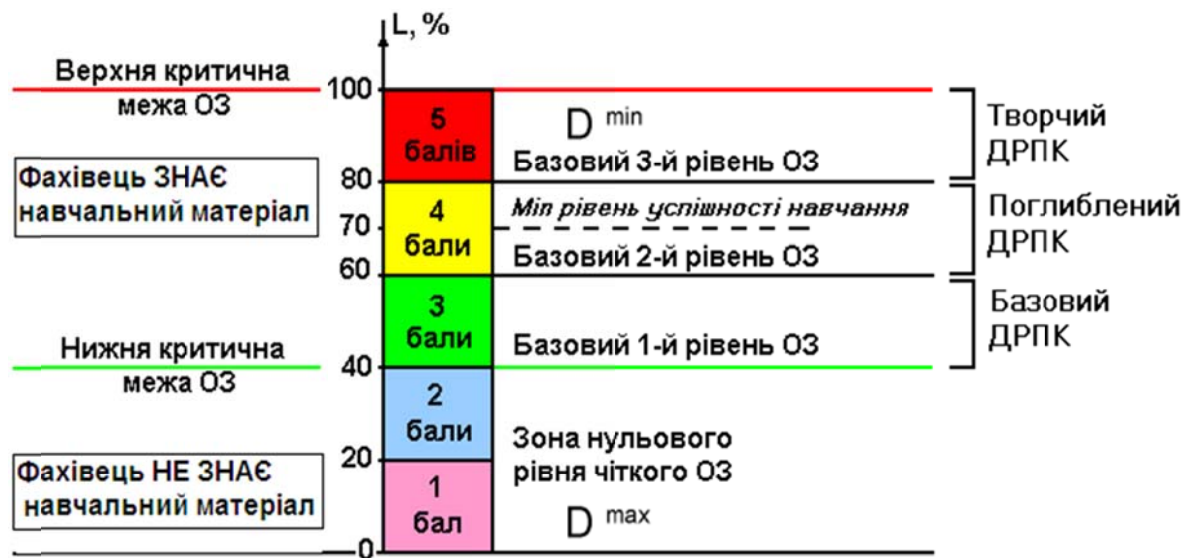


Рис 1.17. Шкали рівнів якості засвоєння знань і вмінь, де: ДРПК – діапазон рівнів професійної компетентності; D – дисперсія повторних оцінювань ОЗ

Як результат, в інтервальній шкалі отримується статистично значуща кількість числових оцінок рівнів елементів компетентності  $L_i, i = \overline{1, n}$  як теоретичного типу (теоретичні знання та вміння), так і практичного типу (виробничі вміння та навички). У випадку комп'ютерного тестування використовується програма обробки електронних таблиць EXCEL.

Числові значення рівнів елементів компетентності являють собою ряд чисел, які допускають основні алгебраїчні операції, зокрема знаходження середнього арифметичного. Зазначимо, що метод факторизації, який передує шкалуванню, дозволяє (за умови рівномірності шкали) у грубому наближенні об'єктивізувати процедуру припису, відповідно до якого кожному об'єкту з урахуванням рівня виявлення емпіричної ознаки (або результату виконання фахівцем конкретного завдання тесту), ставиться певне кардинальне число, яке допускає основні алгебраїчні операції, зокрема знаходження середнього арифметичного.

“М'які” моделі тестування призначені для оцінювання рівнів елементів професійної компетентності практичного типу (професійні вміння та навички).

Не вдаючись в деталізацію наведемо лише основні віхи використання інструментарію оцінювання рівнів компетентності.

Зрозуміло, що емпірична оцінка ( $L_i$ ) результату тестування являє собою алгебраїчну суму дійсної оцінки ( $L_{i0}$ ) і похибки оцінювання ( $\Delta L_i$ ), що складається з усувної випадкової та неусувної систематичних похибок, пов'язаних з випадковістю та нечіткістю:

$$L_i = L_{i0} \pm \Delta L_i \quad . \quad (1.41)$$

Нехай  $T$  – множина завдань тестів ( $t_i, i = \overline{1, m}$ ),  $A$  – множина рівнів знань фахівців ( $a_i, i = \overline{1, m}$ ). Декартів, або прямий добуток вказаних множин визначає множину всіх упорядкованих пар елементів ( $a_i, t_i$ ), які являють собою числові значення квантифікаторів (номерів балів і тестів). Тоді рівні знань групи студентів визначаються співвідношенням, яке задано прямим (декартовим) добутком вказаних множин:

$$L = L(a, t) = A \times T \quad (1.42)$$

Методом експертних оцінок визначають відносні “ваги” отриманих рівнів  $r_i \in (0, 1]$ , що дозволяє обчислити *середній кількісний рівень фахової компетентності* фахівця ( $\bar{L}$ ) за формулою:

$$\bar{L} = \frac{1}{m} \left( \sum_{i=1}^m r_i \cdot L_i \right) \quad (1.43)$$

Ще раз акцентуємо увагу читача на те, що середній рівень фахової компетентності  $\bar{L}$  є комбінацією випробувань не тільки з теоретичних знань і вмій, а й з оцінювання практичних умінь і навичок, які проявляються при користуванні вимірювальними приладами, проведенні розрахунків елементів проектів, розв’язання організаційно-технічних завдань, виконання алгоритмів практичної діяльності і т. ін.

У випадку  $N$  фахівців визначають кількісні рівні їх фахових компетентностей  $\bar{L}_1, \bar{L}_2, \dots, \bar{L}_N$ . Далі обчислюється середнє значення кількісних рівнів компетентності групи фахівців:

$$L^* = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N \bar{L}_i \quad (1.44)$$

Процес навчання повинен бути такої ефективності та результативності, щоб зменшити розсіювання рівнів індивідуальної компетентності  $\bar{L}_j, j = \overline{1, N}$  відносно  $L^*$ , що означає виконання процедури мінімізації середнього квадратичного відхилення:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^N (\bar{L}_j - L^*)^2}{N}} \rightarrow \min . \quad (1.45)$$

Ще раз акцентуємо увагу читачів на тезис, відповідно до якого кожний освітньо-кваліфікаційний рівень вищої освіти (*бакалавр або магістр*) повинен співвідноситися з трьома рівнями фахової компетентності (*базовий, поглиблений і творчий*) відповідно до ступеневого ускладнення алгоритмів діяльності, а також завдань, які їх випереджують: *стереотипні, діагностичні й евристичні*. ◀

## Контрольні запитання

№ з/п	Контрольні запитання	№ з/п	Контрольні запитання
1.	Що називається предметною галуззю (ПГ) ?	42.	Суть об’єктно-орієнтованого підходу (ООП).
2.	Яка відміна ПГ від предметної області ?	43.	Яка суть об’єктної декомпозиції ?
3.	Яка відміна “екземпляра сутності” від “типу сутності” ?	44.	Принципи розробки методики проектування на основі ООП.
4.	Проаналізувати формальну модель онтології.	45.	Методика проектування технічних баз знань на основі ООП.

5.	Що таке “властивість”, “атрибут” і “модус” ?	46.	Що таке виробництво, виробнича система ?
6.	Дати означення техніці. Яка сутність техніки ?	47.	Що таке технологічна система, технологія виробництва ?
7.	Які існують класи та основні виробничі елементи техніки ?	48.	Чим відрізняється технологічний процес від виробничого процесу ?
8.	Дати означення категорії “система”.	49.	Проаналізувати виробничу систему.
9.	Дати означення категорії “модель”.	50.	Схема автоматизованої системи керування виробництвом.
10.	Яке відношення має “елемент” системи до якості ?	51.	Які класи має САК ?
11.	Чим різняться між собою “відношення” та “зв’язки” в системі ?	52.	Що таке процес перетворення ?
12.	У чому сутність “структури системи” ?	53.	Пояснити схему формальної моделі системи, яка керована зовні.
13.	Які ознаки “складної системи” ?	54.	Чому промислове виробництво є динамічною системою ?
14.	У чому дуалізм поняття “організація системи” ?	55.	Які типові входи і виходи канонічної моделі виробничої системи ?
15.	Дати означення “технічної системи”.	56.	Які основні частини має система управління (керування) ?
16.	Розглянути три уявлення про складну технічну систему, аспекти її опису та форми прояву.	57.	Суть тритактного принципу, за яким діє керуюча підсистема.
17.	Чим показник системи відрізняється від параметра системи ?	58.	Яке призначення та способи реалізації мають негативний і позитивний зворотні зв’язки ?
18.	Формалізувати потребу, або функцію технічного об’єкта.	59.	Яке має призначення АСКВ ?
19.	Технічна функція та її види.	60.	Пояснити функціонування АСКВ.
20.	Сутність “стану” та “поведінки системи”.	61.	Що таке інформаційна ентропія ?
21.	Що таке “процеси” в технічній системі ?	62.	У чому суть принципу Ешбі ?
22.	Що таке “поток” в технічній системі ?	63.	Формальна модель замкненої системи керування (управління).
23.	Проаналізувати конструктивну і потокову функціональні структури.	64.	Що таке “складність системи” і яку роль відіграє кількість інформації за Бріллюеном ?
24.	Що таке операції Р. Коллера ?	65.	Дати означення “виробу”, “продукції”, “продукту”, “послуги”, “товару”.
25.	Яка відміна між принципом дії та способом дії ?	66.	Які існують види продукції ?
26.	У чому суть технічного рішення ?	67.	Що таке установлена вимога ?
27.	Які існують підходи до проектування ?	68.	У чому полягає “задоволеність замовника” ?
28.	Дати означення виробничої системи, виробництва.	69.	Які Ви знаєте чотири характерні особливості послуги ?
29.	Чим відрізняється технологія виробництва від технологічного процесу ?	70.	Чому діяльність має неадитивний характер ?
30.	Які значення має термін “управління” (“керування”) ?	71.	Проаналізувати інфраструктуру діяльності.
31.	Проаналізувати класи систем керування.	72.	Проаналізувати ієрархію потреб за А. Маслоу.
32.	Що таке об’єкт проектування і проект ?	73.	Що таке “якість продукції” ?

33.	Яка сутність методології інженерного проектування ?	74.	Проаналізувати “піраміду якості”.
34.	Що називається специфікацією ?	75.	Що таке “життєвий цикл виробу” ?
35.	Яка мета інженерного проектування ?	76.	Класифікація промислової продукції.
36.	Що називається простором стратегій в проектуванні ?	77.	У чому відміна ідеальної якості від функціональної та від системної якості ?
37.	Суть багатокритеріальних завдань проектування.	78.	Які етапи має процес створення якості ?
38.	Методика низхідного проектування.	79.	Що таке укрупнений процес ”створення якості”?
39.	Орієнтований граф низхідного проектування.	80.	Чим відрізняється компетентність від кваліфікації ?
40.	Принципи структурної та функціональної декомпозиції.	81.	Які три діапазони рівнів професійної компетентності відповідають стереотипним, діагностичним та евристичним завданням професійної діяльності ? Обґрунтувати.
41.	Стадії та процедури низхідного проектування.	82.	Чому дисперсія персональних знань зменшується зі зростанням успішності навчання студента?



---

## Розділ 2. ХАРАКТЕРИСТИКИ, ПОКАЗНИКИ ТА РІВНІ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ

---



*“XX століття в дійсності був століттям продуктивності. Я думаю, ми з упевненістю можемо сказати, що наближаємося до століття якості”*

Джозеф Джуран

---

### 2.1. Характеристики якості продукції

---

Продукція. Складові якості продукції. Характеристики якості продукції. Технічні об’єкти і технічні системи. Характеристики продукції (виробу). Типи, групи і класи властивостей технічних систем. Класифікація технічних об’єктів за цілями поведінки. Характеристики якості ергатичних систем.

*Продукція (product) – матеріалізований результат процесу трудової діяльності, який має корисні властивості, отримані в певному місці за певний інтервал часу і призначений для використання з метою задоволення потреб як суспільного, так і особистого характеру.*

Якість продукції залежить від таких основних складових:

1. Властивості окремих виробів.
2. Властивості сукупності або системи виробів.
3. Вимог безпеки.

Якість продукції, а саме виробів машинобудівного заводу, можна зобразити через деякі характеристики, які нами розглянуті нижче (рис. 2.1).

Перед тим, як аналізувати показники якості продукції, розглянемо ряд термінів і означень, які нині є стандартизовані та загально визнані та застосовуються для системних матеріальних (речовинних) чи абстрактних об’єктів [59 – 66; 132; 147; 212].

Технічні об’єкти (ТО), вироби (продукція виробництва) уявляються й аналізуються як технічні системи (ТС), які мають певні якості, властивості (атрибути), параметри, показники, характеристики та інші атрибути (істотні ознаки, невід’ємні властивості).

Відмітними властивостями виробів або продукції є **характеристики (characteristic)**.

Характеристики виробів (товарів) і послуг класифікуються на такі **класи (classes)**:

- **фізичні характеристики** (наприклад, механічна, термодинамічна, електрична, електромагнітна);
- **хімічні та (або) біологічні** характеристики;
- **органолептичні** характеристики (наприклад, пов’язані з нюхом, дотиком, смаком, зором, слухом);
- **ергономічні** характеристики (наприклад, конструкторська, фізіологічна, естетична та екологічна характеристики, безпека людини);

- **технічні характеристики** (технічні властивості, технічні характеристики, технічні параметри, технічні показники);
- **процесні характеристики** (принцип дії, спосіб дії, фізична операція);
- **функціональні характеристики** (продуктивність, швидкодія, точність, режими функціонування тощо, наприклад, максимальна швидкість автомобіля);
- **економічні характеристики** (затрати матеріалів, затрати енергії, затрати на підготовку та отримання інформації, габаритні розміри технічного об'єкта);
- **характеристики простежуваності** (змога простежити ретроспективу створення та вдосконалення технічного об'єкта, сферу застосування або місцезнаходження);
- **часові характеристики** (наприклад, безвідмовність, доступність, пунктуальність);
- **характеристика якості** (*quality characteristic*) – власна характеристика продукції, процесу або системи, пов'язана з вимогою [68]. До характеристик якості відносяться якість вихідних матеріалів, ефективність, надійність, ремонтопридатність, живучість і т. ін.

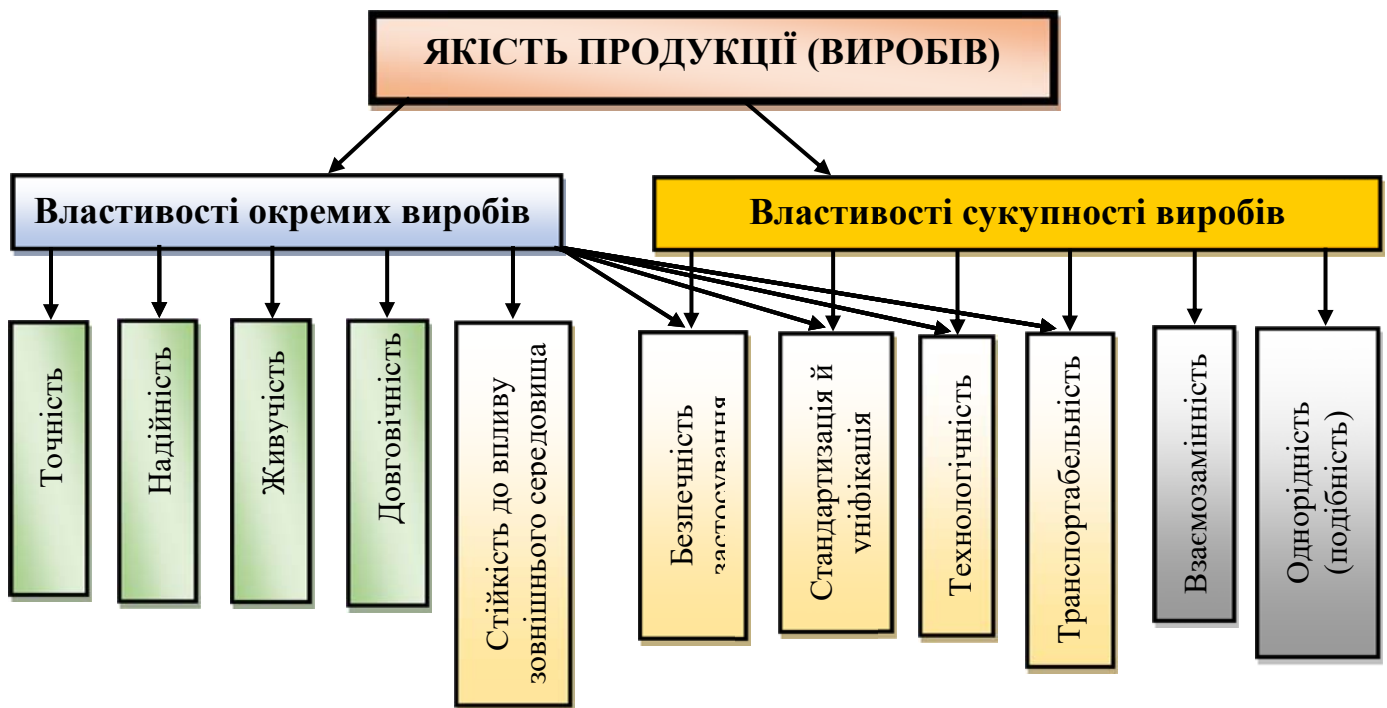


Рис. 2.1. Деякі характеристики якості продукції

Характеристики продукції (виробів) класифікуються на такі **типи** (*types*):

- **власна характеристика** (на відміну від “присвоєної характеристики”) означає саме як інваріантна, постійна, присутня у чомусь характеристика;
- **якісна характеристика** (вживається з такими прикметниками, як “погана”, “добра” або “відмінна”);
- **кількісна характеристика**, що виражається ординальними чи кардинальними числами (ординальні числа отримуються в порядковій шкалі, а кардинальні – в метричних шкалах).



Належить зазначити, що під “**якістю**” розуміють одночасно як сукупність властивостей (функцій) і як складна властивість (функція), адекватна цій сукупності. Зокрема, технічним об’єктам притаманні такі **групи властивостей**:

- 1) **загальносистемні** (цілісність, організація, ступінь організованості, складність і т. ін.);
- 2) **технологічні** (спосіб і якість виготовлення ТО);
- 3) **конструктивні** (функціональна структура, конструктивні матеріали та ін.);
- 4) **економічні** ( вартість, витрати та ін.);
- 5) **ергономічні** (фізіологічні, естетичні, екологічні тощо);
- 6) **властивості розвитку** (динамічність, адаптація, гнучкість, інерційність, структурна стабільність і т. ін.);
- 7) **взаємодія зі зовнішнім середовищем** (“входи” і “виходи” системи);
- 8) **внутрішня будова ТО** (“структура”);
- 9) **поведінка ТО** (*conduct technical object*) – загальносистемна, інтегральна властивість складних технічних систем, яка пов’язана з *функціонуванням* (дій системи, які виражаються у зміні можливих її станів і спричиняють досягнення певних цілей). Розглядаючи функціонування ТО, припускають, що структура (конструкція) і робочий процес незмінні, інваріантні (стійкі в часі).

Як показано автором [112], в залежності від складності та організації, цілі поведінки (функціонування) технічних систем різні, а саме:

а) для I-го класу ТО (простих каузальних систем) мета є екзогенним чинником і задається зовні завданнями використання систем, а поведінка систем є результатом дії причинно-наслідкових зв’язків. Прикладами можуть бути різноманітні механізми, електродвигуни, роботи I-го покоління (програмні роботи);

б) для II-го класу ТО (доцільні, вирішальні системи) мета є проміжним фактором, а поведінка систем є результатом акту рішення (вибору альтернативи) за допомогою випадкового механізму або програми. Системи керування таких систем відносяться до **рефлексивного типу**. Прикладами можуть бути адаптивні та самонавчальні системи автоматичного керування (САК), роботи II-го покоління (адаптивні роботи);

в) для III-го класу ТО (цілеспрямовані системи) мета є ендогенним чинником (внутрішнього походження) і результатом інформаційних взаємодій, а поведінці систем притаманний **інтелектуальний вибір**. Прикладами можуть бути роботи III-го покоління (інтелектуальні роботи), ергатичні організми, системи штучного інтелекту.

Як приклад, розглянемо ергатичну систему (ЕС) “людина – машина – зовнішнє середовище”. Прикладом такої системи є ЕС “користувач – персональний комп’ютер (ПК) – зовнішнє середовище”.

Розвиток ПК, роботів III-го покоління, а також людини-оператора приведуть з часом до організмичної надбудови високого ступеня складності та схемно-програмної досконалості й адаптовності до системи управління організмом людини, що в результаті з’являться **ергатичні організми**. Проте поки що ми маємо справу з найбільш поширеною моно-ергатичною системою, яка складається з однієї людини (користувач) і однієї машини (наприклад, ПК) – **ергамат**.



Стрижневою проблемою теорії ергатичних систем є проблема створення активних ергатичних систем, а гранично – ергатичних організмів.

Наведені вище уявлення взяті нами з праці В.В. Павлова, який запропонував **принципи організації ергатичних систем**, серед яких нами виділені декілька, на наш погляд, важливих в контексті характеристик якості (роль машини відіграє ПК) [159]:

- ❖ *Принцип активності*: ЕС повинна бути активною в деякій непустій області простору поведінки і станів системи (це ми розуміємо, як гармонію активності користувача і програмного забезпечення).
- ❖ *Принцип гомеостазу стану*: ЕС повинна утримувати істотні для свого нормального функціонування змінні стану (користувача і ПК) в допустимих межах.
- ❖ *Принцип функціонального гомеостазу*: ЕС повинна забезпечити сталість і незалежність властивостей активності при різних станах зовнішнього і внутрішнього середовищ.
- ❖ *Принцип цілісності*: досконала ЕС (гранично – ергатичний організм) повинна мати фундаментальні властивості поведінки, а саме активність, функціональний гомеостаз і гомеостаз стану.
- ❖ *Принцип “грубості” (робастності) функціональних властивостей* ЕС: здатність ЕС до самозбереження якісного свого стану і властивостей при незначних (підпорогових) змінах властивостей елементів системи (зазначимо, що властивість “грубості” є фундаментальною властивістю будь-яких систем управління чи керування).
- ❖ *Принцип найменшої дії суб’єкта*: досконала ЕС (зокрема, ергамат) повинна мати такі властивості, за яких суб’єкт (людина, користувач) при мінімальних своїх діях міг би створити і здійснити алгоритм досягнення заданого або максимального рівня ефективності всієї системи.
- ❖ *Принцип раціональності*: із декількох ергатичних систем, створених для розв’язання одного класу задач, раціональною є та, яка при інших рівних умовах має більші можливості для нормального функціонування при несприятливих зовнішніх умовах.

---

## 2.2. Показники якості продукції

---

Характеристики продукції. Показники якості продукції. Рівень якості продукції. Аналіз показників якості продукції: функціональних, ресурсозберігаючих, природоохоронних, призначення, надійності, живучості, простежуваності, безпеки, однорідності, стандартизації й уніфікації, стійкості до зовнішніх впливів, технологічності, транспортабельності, естетичності, економічності, екологічності, технічного рівня продукції, ергономічності, взаємозамінності, патентно-правовий.

---

Продукція характеризується:

- a) **ознаками** – якісними чи кількісними характеристиками будь-яких властивостей або станів продукції;
- b) **параметрами** – ознаками продукції, які кількісно характеризують будь-які її властивості або стани. У строгому відношенні, параметр – величина,

значення якої служить для розрізнення елементів деякої множини. Зазначимо, що параметр продукції – власна характеристика продукції на відміну від присвоєних характеристик продукції (наприклад, ціни продукції);

- с) **показниками** – кількісними (числовими) характеристиками будь-яких властивостей продукції (системи) або цілеспрямованого процесу, що є результатом оцінювання, вимірювання або розрахунку.

Розглянемо показники якості продукції (*products quality indicators*).

**Показник якості продукції** – кількісна характеристика одного або декількох властивостей продукції, які складають її якість, що розглядається стосовно до певних умов її створення й експлуатації або споживання.

Значення показника якості продукції, встановлене нормативною документацією – регламентоване значення показника якості продукції. Найбільше або найменше регламентоване значення показника якості продукції – *граничне значення* показника якості продукції.

**Рівень якості продукції** (*the level of quality of production*) – відносна характеристика якості продукції, яка заснована на порівнянні значень показників якості оцінюваної продукції з базовими значеннями відповідних показників.

Іншими словами, рівень якості – це кількісна характеристика міри придатності того чи іншого виду продукції для задоволення конкретного попиту на неї у порівнянні з відповідними базовими показниками за фіксованих умов використання (споживання).

Оцінювання якості продукції передбачає визначення абсолютного, відносного, перспективного й оптимального її рівня:

- ❖ **Абсолютний рівень якості продукції** характеризує якість виробу певного виду, що виготовляється підприємством у поточному періоді. Він визначається обчисленням взятих для його вимірювання показників без їх порівняння з відповідними показниками аналогічних виробів.
- ❖ **Відносний рівень якості окремих видів нової продукції** визначається порівнянням їх техніко-експлуатаційних й економічних показників з абсолютними показниками якості найкращих аналогічних вітчизняних і зарубіжних зразків.
- ❖ **Перспективний рівень якості виробів** – такий рівень, якого можна досягти в майбутньому, враховуючи пріоритетні напрями й темпи розвитку науки і техніки.
- ❖ **Оптимальний рівень якості** – такий рівень, за якого загальна величина суспільних витрат на виробництво і використання (експлуатацію) продукції за конкретних умов її споживання є мінімальною.

До показників якості виробничої продукції, – виробів, технічних об'єктів (систем), – відносяться нижче розглянуті класи та групи показників, які входять у певні класи. Наведені означення відповідають рекомендованим стандартним дефініціям [45; 55; 58 – 69; 147].

### **1. Показники технічного ефекту**

**Показники технічного ефекту** – показники, які характеризують здатність виробу виконувати свої функції в заданих умовах використання за призначенням.

Ці показники застосовують при встановленні раціональних параметричних рядів об'єктів виробництва і класифікації виробів за призначенням.

До показників технічного ефекту відносяться *показники продуктивності* (для верстатів, компресорів, гідромашин тощо), *експлуатаційні показники*, які характеризують корисну роботу, яку ці вироби здійснюють або можуть здійснити при їх застосуванні.

## **2. Ресурсозберігаючі показники**

*Показники ресурс-місткості робочого процесу відображають досконалість виробу за ступенем споживання їм матеріальних, паливно-енергетичних і трудових ресурсів у процесі функціонування за призначенням.*

Ці показники характеризують здатність виробу виконувати задані функції при використанні виділених для його функціонування ресурсів у обсягах (об'ємах), які відповідають встановленим для цієї мети нормам.

У склад вказаних ресурсів не включаються оперативні затрати на технічне обслуговування і ремонт виробу, які характеризують експлуатаційну технологічність його конструкції.

Таким чином, ресурсозберігаючі показники характеризують властивості продукції, які визначають рівень затрачених ресурсів при її створенні та застосуванні. Група ресурсозберігаючих показників включає підгрупи технологічності й ресурсоспоживання.

## **3. Показники призначення**

*Показники призначення (use of indicators) – показники якості, які характеризують властивості продукції, що визначають основні функції, для виконання яких вона призначена, і обумовлюють галузь її застосування.*

До групи показників призначення відносяться такі підгрупи:

- 1) класифікаційні показники;
- 2) показники складу та структури;
- 3) конструктивні показники;
- 4) показники функціональної та технологічної ефективності (*експлуатаційні показники*).

Зазначимо, що ефективність – ступінь відповідності системи своєму призначенню. Відповідно до міжнародного стандарту, прийнятому в Україні, а саме ДСТУ ISO 9000-2015, “*ефективність (efficiency) – співвідношення між досягненим результатом і використаними ресурсами*” [68].

**3.1. Класифікаційні показники** встановлюють належність виробів до певної класифікаційної групи продукції (потужність електродвигунів, передавальне число редуктора, місткість ківша екскаватора, вміст вуглецю в сталі тощо).

**3.2. Показники складу і структури** визначають морфологію виробу. Складові частини виробу – це деталі, складові одиниці, комплекти і комплекси.

**3.3. Конструктивні показники** характеризують проектно-конструктивні розв'язання, зручність монтажу й установки продукції, можливість її агрегування і взаємозамінності, блочність (модульність) виробу тощо. До конструктивних

показників відносяться: габаритні розміри, коефіцієнт ефективності, коефіцієнт взаємозамінності та коефіцієнт блочності (модульності) виробу тощо.

3.4. **Функціональні показники** визначають користь від експлуатації виробів і рівень прогресивності закладених в них рішень (продуктивність агрегату, питома енергоємність виробу, точність приладу тощо).

3.5. До **показників функціональної (технологічної) ефективності** (експлуатаційні показники) відносяться корисний ефект від експлуатації і прогресивність технічних рішень, закладених у продукцію та ін.

**Показник ефективності (якості)** є головним техніко-економічним параметром. У залежності від поставленого завдання роль головного параметра може відігравати: продуктивність, коефіцієнт корисної дії (ККД), коефіцієнт корисного використання (ККВ), потужність, матеріалоемність, напрацювання на відмову і т. ін.

**Головний параметр**, як правило, є один. Від нього функціонально (“жорстко”) та кореляційно (“м’яко”) залежать **основні** та **допоміжні параметри**.

Наприклад, для електродвигуна:

- 1) головний параметр електродвигуна – потужність;
- 2) основні параметри електродвигуна – напруга, частота струму, число фаз, коефіцієнт потужності  $\cos \varphi$ , частота обертання ротора, габаритні розміри;
- 3) допоміжні параметри електродвигуна – ергономічні, естетичні, екологічні, а також параметри безпеки.

#### **4. Показники надійності**

**Надійність** (*reliability*) – “...властивість об’єкта зберігати в часі у встановлених межах значення всіх параметрів, які характеризують здатність виконувати необхідні функції в заданих режимах й умовах застосування, технічного обслуговування, ремонтів, зберігання та транспортування” [147, с. 185].

**Показники надійності** – показники, які відображають важливі якісні особливості багатьох сучасних машин, приладів й обладнання.

До показників надійності відносяться **показники безвідмовності, довговічності, збереженості**.

Як наслідок, зазначимо, що показники надійності – **кількісні характеристики одного чи декількох властивостей, які складають надійність виробу (об’єкта)**. Ці показники отримують шляхом обробки експериментальної інформації, одержаної внаслідок випробування або експлуатаційних досліджень.

Збірний термін “**надійність**” вживають лише для загального опису в не кількісних термінах характеристик готовності та факторів, що їх зумовлюють та має аналог “**стійкості системи**”.

Мається на увазі складна система, яка має властивість за назвою “**емерджентність**” (від англ. *emergence* – виникнення, поява нового) – **неможливість зведення властивостей системи до суми властивостей її компонентів** (підсистем, елементів), тобто **неадитивність властивостей**. Останнє викликає у вказаних системах емерджентні якості.

Якщо за основу взяти зростання складності й активності емерджентних якостей промислових виробів (технічних систем), то отримуємо такий ланцюг форм

стійкості у порядку ускладнення та досконалості [112], причому перші чотири форми стійкості є пасивні, а наступні вісім форм – активні (див. ІМ).

**Міцність ⇒ Збалансованість ⇒ Гомеостаз ⇒ Стабілізація ⇒ Завадостійкість ⇒  
⇒ Саморегулювання ⇒ Керованість ⇒ Адаптація ⇒ Самонавчання ⇒  
⇒ Самоорганізація ⇒ Надійність ⇒ Живучість.**

У наведеному вище ланцюзі стійкості (надійності) системи, кожна наступна якість має сенс лише при наявності попередньої.

Надійність є складною властивістю, яка, в залежності від призначення технічного об'єкта (ТО) та умов його застосування, складається із поєднання властивостей:

**4.1. Безвідмовність** (*infallibility*) – здатність ТО безперервно зберігати працездатність протягом деякого проміжку часу або деякого напрацювання. Безвідмовність характеризується показниками, що розглянуті нижче.

**4.1.1. Показник безвідмовності** (*reliability index*) – імовірність того, що в межах заданого напрацювання відмова об'єкта не виникає.

Працездатність ТО теоретично повинна вкладатися у *технічний ресурс* – напрацювання об'єкта від початку його експлуатації або від його відновлення після ремонту певного виду (планового і непланового) до переходу в граничний стан (напрацювання – це часова тривалість або обсяг роботи об'єкта).

**4.1.2. Граничний стан** – стан об'єкта, при якому його подальше застосування за призначенням неприпустимо і недоцільно, або відновлення його справного чи працездатного стану неможливо або недоцільно.

**4.1.3. Граничний знос** – значення зносу, яке відповідає граничному стану.

**4.2. Ремонтпридатність** (*maintainability*) – властивість об'єкта, яка полягає в пристосуванні до попередження (застороги), виявлення причин виникнення відмов, пошкоджень, а також у підтримці та відновленні працездатного стану шляхом проведення технічного обслуговування і ремонтів.

**4.3. Забезпечення технічного обслуговування** (*providing maintenance*) – реалізація комплексу операцій або операція по підтриманню працездатності або справності виробу при використанні за призначенням, очікуванні, зберіганні та транспортуванні.

У конструкторській документації є регламентовані операції з технічного обслуговування, а саме: контроль технічного стану, очистка, змазування, кріплення болтових з'єднань, заміна деяких складових частин виробу, регулювання і т. д.

**4.4. Збереженість** (*survival*) – властивість об'єкта зберігати значення показників безвідмовності, довговічності та ремонтпридатності протягом та після зберігання та (або) транспортування (до введення в експлуатацію та в період експлуатації).

**4.5. Довговічність** (*durability*) – властивість ТО зберігати працездатність до настання граничного стану при встановленій системі технічного обслуговування і ремонту.

Практика промислового виробництва показує, що технічний об'єкт може перейти в граничний стан, залишаючись працездатним, якщо, наприклад, його подальше застосування за призначенням стане неприпустимим за вимогами безпеки, економічності, ефективності та нешкідливості.

Об'єкт, який перейшов непрацездатний стан, може не досягнути граничного стану, якщо відновлення працездатного стану доцільно і (або) припустимо.

## **5. Показники живучості**

**Живучість** (vitality) – “...здатність системи зберігати властивості, необхідні для виконання необхідних функцій, при наявності діянь (впливів), не передбачених умовами нормальної експлуатації” [147, с. 168].

Живучість – властивість складної системи, що полягає в її здатності зберігати штатний режим функціонування і виключати можливість аварії або катастрофи в прогнозованих і не прогнозованих умовах впливу дестабілізуючих, неруйнівних факторів ризику. Іншими словами, це здатність системи зберігати властивості, необхідні для виконання потрібних функцій, при наявності діянь та впливів, не передбачених умовами нормальної експлуатації. Зазначимо, що живучість і надійність є якісними характеристиками виробничих систем і оцінюються за допомогою методу експертних оцінок.

Завдяки живучості відмова будь-якого елемента чи групи елементів системи не призводить до відмови всієї системи, а тільки до деякого зниження ефективності її функціонування. Зокрема, **показники живучості для ТО** – показники якості, що характеризують здатність виробу виконувати свої функції при ушкодженнях й аварійних ситуаціях.

**5.1. Здатність до адаптації та самоорганізації.** Показники живучості притаманні для складних систем, які мають ієрархічну структуру та властивості **адаптації** (лат. *adapto* – пристосування) та самоорганізації.

**Самоорганізація** (*self-organization*) – процес, у ході якого створюється, відтворюється або удосконалюється організація складної динамічної системи.

Очевидно, що живучість притаманна активним складним системам, які, маючи певну міру організації (організованість) та доцільну або цілеспрямовану поведінку, здатні протистояти шкідливим діянням (впливам) зовнішнього середовища і виконувати свої функції в заданих умовах таких діянь (впливів).

**5.2. Структурна та функціональна надмірність.** Для збільшення живучості системи резервують компоненти (модульна побудова системи), застосовують високонадійні захисні елементи або уводять структурну та функціональну надмірність.

**П**→ Структурна надмірність складних систем може бути визначена за раніше розглянутою формулою відносної організації системи:  $R = 1 - H / H_{\max}$ , де:

R – міра структурної організації системи (організованість);

H – поточна невизначеність системи (ентропія);

$H_{\max}$  – максимальна невизначеність системи (міра складності), яка відповідає граничному стану абсолютної неупорядкованості, тобто рівноважному хаосу.

Якщо за міру складності технічної системи використовувати різноманітність (У. Ешбі), тоді кількісна міра невизначеності ситуації, або невизначеність станів системи визначається за формулою інформаційної ентропії К. Шеннона (1.26), а у випадку рівноважного хаосу, тобто повної дезорганізації системи, яка складається із сукупності  $n$  незв'язаних елементів, маємо

рівномірний стан системи, за якого  $p_i = \text{const}$ , для  $i = \overline{1, n}$ . Враховуючи, що  $\sum_{i=1}^n p_i = 1$ ,

отримуємо:  $p_i = 1/n$ . Підставляючи у (1.26), маємо формулу Р. Хартлі (термін “формула” від лат. *formula* – форма, правило) – коротка форма символічного запису інформації):

$$H_{\max} = \log_2 n. \quad (2.1)$$



Зазначимо, що **Ральф Хартлі** (1888-1970) – відомий американський вчений, фахівець з електроніки. Він вперше встановив кількість інформації, яка міститься в повідомленні довжиною  $n$ .

Якщо  $p_i$  – імовірність  $i$ -го повідомлення (події) взятого з  $n$  повідомлень (подій), то формула **інформаційної ентропії** джерела інформації  $\eta$  (середня ентропія повідомлення):

$$H(\eta) = - \sum_{i=1}^n p_i \cdot \log_2 p_i, \text{ біт / символ.} \quad (2.2)$$

Нехай  $\xi$  – приймач повідомлень  $\xi_i$ , а  $\eta$  – джерело повідомлень  $\eta_i$ , то вважаючи  $\xi$  і  $\eta$  випадковими величинами напишемо формулу **взаємної ентропії**, тобто ентропію пари  $(\xi, \eta)$ :

$$H(\xi, \eta) = - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m p(\xi_i \eta_j) \cdot \log_2 p(\xi_i \eta_j). \quad (2.3)$$

Очевидно, що кількість взаємної інформації  $I(\xi, \eta)$  і ентропія  $H$  зв'язані залежністю:

$$I(\xi, \eta) = H(\xi) + H(\eta) - H(\xi, \eta). \quad (2.4)$$

Ентропія з боку джерела повідомлення  $\eta$  є умовною ентропією:

$$H(\eta | \xi) = \sum_i p(\xi_i) \cdot H(\eta | \xi_i). \quad (2.5)$$

Аналогічно, ентропія з боку приймача повідомлення  $\xi$  є умовною ентропією:

$$H(\xi | \eta) = \sum_i p(\eta_i) \cdot H(\xi | \eta_i). \quad (2.6)$$

Зв'язок взаємної ентропії та умовної ентропії такий:

$$H(\xi, \eta) \equiv H(\xi \eta) \equiv H(\xi \cap \eta) = H(\xi) + H(\eta | \xi) = H(\eta) + H(\xi | \eta). \quad (2.7)$$

До основних **властивостей ентропії** відносяться такі:

1. Невід'ємність  $H(\xi) \geq 0$ .
2. Обмеженість замкнутим інтервалом  $0 \leq H(\xi) \leq \log_2 n$ .
3. Якщо випадкові величини  $\xi$  і  $\eta$  мають однаковий розподіл імовірностей елементів, то отримуємо  $H(\xi) = H(\eta)$ .
4. Якщо  $\xi$  і  $\eta$  незалежні, то відповідно з (2.4) маємо  $I(\xi, \eta) = 0$ , звідси

$$H(\xi, \eta) \equiv H(\eta, \xi) = H(\xi) + H(\eta), \quad (2.8)$$

де  $H(\xi, \eta)$  – ентропія добутку (перетину) випадкових величин  $\xi$  і  $\eta$ . ◀

## **6. Простежуваність**

**Простежуваність** (*traceability*) – змога простежити передісторію (ретроспективу), застосування або місцезнаходження того, що розглядають.

Стосовно продукції простежуваність може бути пов'язана з:

- походженням матеріалів чи складових частин;
- історією оброблення;
- розподілом або місцезнаходженням продукції після поставлення.

## **7. Показники безпеки**

**Показники безпеки** (*safety parameters*) – показники якості, що характеризують особливості виробу, обумовлюючи при його використанні безпеку обслуговуючого персоналу, а також зв'язаних з виробом та інших об'єктів.

Показники безпеки (безпечності) характеризують особливості продукції, які забезпечують при її експлуатації або споживанні безпеку людини (обслуговуючого персоналу).

До показників безпеки відносяться захист від механічних, електричних, теплових впливів, отруйних і вибухових парів, акустичних шумів, електромагнітних полів, радіоактивних випромінювань і та ін.

При функціонуванні підприємства можливий вплив на реципієнтів таких **виробничих факторів** [114]:

- ❖ **За класами:** небезпечні та шкідливі виробничі фактори.
- ❖ **За природою:** фізичні, хімічні, біологічні та психофізіологічні (останні раціонально називати терміном “чинники”).
- ❖ **За видами джерел небезпеки:** механічні, фізичні, радіаційні, хімічні, біологічні, бактеріологічні, пожежонебезпечні.
- ❖ **За інтенсивністю джерел небезпеки:** постійне випромінювання, залпові викиди, накопичення небезпечного ефекту на поверхні ґрунту тощо.
- ❖ **За ступенем впливу на реципієнтів** (працівників) та наслідками розрізняють: виробничі травми, професійні захворювання, професійні отруєння, внаслідок яких може відбутися зниження або втрата працездатності (тимчасова чи постійна, повна чи часткова); можливий і фатальний кінець.
- ❖ **За сферою забруднення:** атмосфера, гідросфера, літосфера.

Розрізняють такі **режими функціонування підприємства:** нормальна експлуатація; аварійна ситуація; аварійний режим; ліквідація наслідків аварії; зняття з експлуатації; ліквідація підприємства.

Можлива інша класифікація. При функціонуванні підприємства можливий вплив на працівників, таких **виробничих факторів** [114]:

1. **Композиційних:** розміщення цехів, дільниць, а також технологічного обладнання стосовно можливості локалізації аварійної ситуації; забезпечення доступу до обладнання під час робіт по відновленню об'єкта; інші зовнішні природні та техногенні фактори, що впливають на виникнення аварійних ситуацій і розповсюдження дії джерел небезпеки, які є на підприємстві.
2. **Технічних** : технологія виробництва; рівень надійності технологічного обладнання, а також будівель, споруд і елементів інженерної інфраструктури; рівень надійності системи керування підприємством і технологічним



процесом; склад і рівень надійності систем безпеки; склад, кількість і якість компонентів, що забезпечують нормальну експлуатацію, а також функціонування підприємства в аварійному режимі та під час ліквідації наслідків аварії; внутрішній самозахист об'єктів, що входять до складу підприємства, зокрема наявність аварійного планування: перелік заходів, які повинні бути вжиті в аварійному режимі; ресурс споживання підприємства.

3. **Ергатичних:** склад, умови, режим роботи та рівень культури та безпеки осіб, які виконують та забезпечують всі види робіт на всіх стадіях та етапах циклу існування підприємства; точність, повнота і доступність настанов, правил та інструкцій для персоналу, які регламентують його дії для забезпечення безпечності підприємства, зокрема наявність аварійного планування.

Таким чином, показники безпеки характеризують особливості продукції, що обумовлюють при її виготовленні та використанні (споживанні) або експлуатації, а також безпечність виробничого й обслуговуючого персоналу. Вони відображають рівень забезпечення безпеки людини в системі “людина – машина – середовище” при використанні встановлених нормативних заходів і засобів захисту, включаючи умови аварійної ситуації.

Прикладами показників безпеки можуть служити ймовірність безпечної роботи людини при виготовленні або експлуатації продукції на протязі встановленого часу, проміжок часу спрацьовування захисних пристроїв тощо.

## **8. Показники однорідності**

*Показники однорідності (indicators uniformity) – показники, які характеризують розсіювання фактичних значень певного показника якості в різних одиниць продукції одного виду і які застосовуються для оцінювання стабільності показників якості в умовах масового або серійного виробництва продукції.*

Прикладом може бути техніко-економічні показники якості побутових холодильників різних виробників.

## **9. Показники стандартизації, уніфікації та взаємозамінності**

*Показники стандартизації й уніфікації (indicators of standardization and unification) – показники якості, що характеризують насиченість продукції уніфікованими й оригінальними складовими частинами, рівень уніфікації з іншими виробами, а також взаємозамінність виробів.*

Останнє пов'язане з кількісною оцінкою властивості за допомогою номінальних величин, граничних відхилень і допусків параметрів елементів.

До цих показників відносяться такі:

**9.1. Допуск параметра (admission option) – різниця між верхнім і нижнім гранично допустимими значеннями параметра.**

Допуск виступає як міра переходу виробів в інший стан. Призначення допусків форми і розташування (розміщення) поверхонь має проводитися на основі державних стандартів. Усі відхилення форми і розміщення поділяють на три групи:

- відхилення та допуски форми;
- відхилення та допуски розташування;
- сумарні відхилення форми та розташування.

Відхилення форми і розташування поверхонь знижує не тільки експлуатаційні, але й технологічні показники виробу. Для забезпечення необхідної точності параметрів, його працездатності і довговічності в робочих кресленнях деталей необхідна вказівка не тільки граничних відхилень розмірів, але в необхідних випадках – також допусків форми і розташування поверхонь. Відхилення форми і розташування поверхонь виникають у процесі обробки деталей через неточність та деформацію верстата, деформацію оброблюваного виробу, нерівномірності припуску на обробку, неоднорідності матеріалу і т. п.

Для кожного виду допуску форми або розташування встановлено **16 ступенів точності** (з 1-го до 16-го), що включають як точні (1-й ступінь), так і грубі (16-й ступінь) допуски. У межах одного ступеня точності стандартом встановлено три рівні відносної точності А, В і С, що визначаються співвідношенням допусків форми і розміру, за яких допуски форми складають відповідно 60, 40 і 25 % допуску розміру.

**9.2. Взаємозамінність** (interchangeability) – основна властивість сукупності виробів, яка визначає якість продукції і характеризується інтенсивністю, наявністю відношень між елементами виробів з урахуванням їх особливості та специфічності, зовнішніми та внутрішніми проявами.

Взаємозамінність проявляється інтенсивно, та її пов'язують з кількісною оцінкою властивості за допомогою номінальних величин, граничних відхилень і допусків параметрів елементів. Взаємозамінність вказує на зв'язок її з іншими властивостями якості – точністю, надійністю, однорідністю (подібністю), довговічністю. Взаємозамінність є однією з передумов організації серійного і масового виробництва, сприяє кооперуванню галузей виробництва, що виготовляють численні комплектуючі елементи виробів машинобудування на різних спеціалізованих підприємствах.

## **10. Показники стійкості до зовнішніх впливів (діянь)**

**Показники стійкості до зовнішніх впливів, або діянь** (indicators of resistance to external influences or acts) – показники якості, що характеризують здатність виробу зберігати працездатність при діях (впливах), навколишніх об'єктів, а також природного середовища.

Прикладом стійкості до зовнішніх впливів такого виробу, як шахтний електродвигун, такі: пило-захищеність, волого-захищеність, ударостійкість, вібро-міцність, стійкість від впливу зовнішнього магнітного поля тощо.

Другим прикладом є оболонки, в які вбудовуються (в процесі виготовлення чи перед початком експлуатації) електротехнічні вироби. Оболонки служать захистом від попадання пилу, води і твердих тіл у виріб, а також для захисту персоналу від зіткнення з частинами виробу, які знаходяться під напругою, від процесу стикання з струмопровідними або рухомими частинами всередині оболонки.

**ДВ** → Ступені захисту викладені в стандарті ГОСТ 14254 – 80. Для позначення ступенів захисту застосовуються літери «IP» (від англ. *Ingress Protection* – захист від проникнення) та наступні за нею дві цифри.

Перша цифра означає ступінь захисту персоналу від стикання з рухомими частинами, розташованими всередині оболонки, від контакту з частинами, що знаходяться під напругою чи

приближення до них, а також ступінь захисту виробу від попадання всередину сторонніх твердих тіл і пилу.

Друга цифра позначає ступінь захисту виробу від попадання води. Наприклад, IP 31.

Якщо для виробу потрібно вказати ступінь захисту тільки однією цифрою, то пропущена цифра замінюється буквою X, наприклад: IP X4, IP 2X. Значення та розшифрування приведені в табл. 2.1, де позначення “СЗ” означає “ступінь захисту”.

Таблиця 2.1

**Характеристика ступенів захисту (СЗ) персоналу від напруги та рухомих частин і електротехнічного виробу від сторонніх тіл і води**

СЗ	Захист від твердих тіл і пилу	Захист від попадання води
0	Захист відсутній	Захист відсутній
1	Захист від твердих тіл розміром більше 50 мм, і, зокрема, руки людини	Захист від крапель води, які падають вертикально на оболонку та не чинять шкідливого впливу на виріб
2	Захист від твердих тіл розміром більше 12 мм і предметів довжиною не більше 80 мм, захист від проникнення пальців руки	Захист від крапель води, які падають під кутом 15° до нормалі, поставленої до оболонки, і не чинять шкідливого впливу на виріб
3	Захист від твердих тіл розміром більше 2,5 мм, а також від інструментів, дроту тощо, діаметром або товщиною більше 2,5 мм	Захист від дощу, який падає на оболонку під кутом 60° до нормалі, поставленої до оболонки та не чинять шкідливого впливу на виріб
4	Захист від твердих тіл розміром більше 1 мм, а також від проникнення всередину оболонки дроту, розміром більше 1 мм	Захист від бризок води на оболонку, які не повинні чинити шкідливого впливу на виріб
5	Захист від пилу, яка частково проникає всередину оболонки, однак не викликає порушення роботи виробу	Захист від водяного струменя, який не повинен чинити шкідливого впливу на виріб
6	Пилонепроникність, тобто проникнення пилу в оболонку відвернуте повністю	Захист від хвиль води при хвилюванні водойми. Кількість води, яка спроможна потрапити всередину оболонки, не може пошкодити виріб
7	–	Захист від занурення у воду. Вода не повинна проникати всередину оболонки, яка занурена у воду, в кількості, достатньому для пошкодження виробу
8	–	Захист від тривалого занурення у воду. Вироби придатні для тривалого занурення у воду за умов, які установлені виготовлювачем ◀

**11. Показники технологічності конструкції виробу**

*Показники технологічності (technological indicators) – показники якості, що характеризують властивості продукції, які обумовлюють оптимальний розподіл затрат матеріалів, засобів, праці та часу при технологічній підготовці виробництва, виготовленні та експлуатації продукції.*

Показники технологічності – це показники, які характеризують **конструктивні особливості виробу**, а саме:

- a) технологічну раціональність конструкції;
- b) спадкоємність конструктивних рішень.

Вказані особливості виробу зумовлюють рівень витрат ресурсів на його розробку та виготовлення, відновлення та підтримання якості в сфері споживання. До властивостей виробу (продукції), що оцінюються за допомогою показників технологічності, відносяться матеріаломісткість, енергоємність, трудомісткість і хрономісткість :

- ❖ **Матеріаломісткість продукції** (*production of materials*) – показник  $P_m$ , який є часткою витрат матеріальних ресурсів  $M$  (основних і допоміжних матеріалів, енергії, палива тощо) на виготовлення одиниці продукції у загальних витратах:

$$P_m = M / V, \quad (2.9)$$

де  $V$  – обсяг реалізованої продукції.

- ❖ **Енергоємність продукції** (*the energy intensity of production*) – загальна витрата всіх видів використаної енергії на виробництво одиниці готової продукції, наприклад, 1 т сталевого прокату, труб, металовиробів і т. д .

Відповідно методики розрахунку показника енергоємності валового регіонального продукту (Наказ держенергоефективність України № 63, від 21.07.2011р.), розрахунок показника енергоємності валового регіонального продукту (ВРП) у загальному випадку проводиться згідно формули:

$$E_t^\tau = D_t / N_t^\tau, \quad (2.10)$$

де:  $E_t^\tau$  – енергоємність ВРП року  $t$  в цінах року  $\tau$  (кг у. п./грн.);

$D_t$  – обсяг паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР), витрачених на формування ВРП у регіоні, в умовних одиницях виміру енергії, наприклад, тон умовного палива (т у. п.);

$N_t^\tau$  – обсяг ВРП року  $t$  в цінах року  $\tau$  (грн.).

- ❖ **Трудомісткість продукції** (*the complexity of products*) – показник продуктивності праці, який являє собою суму затрат живої праці на виробництво одиниці продукції. Визначається відношенням затрат на виробництво до обсягу випущеної продукції за певний період, тобто

$$T_E = T_J / V, \quad (2.11)$$

де:  $T_E$  – трудомісткість (повна);

$T_J$  – працезатрати на випуск продукції (проведення робіт, надання послуг) у відповідних одиницях;

$V$  – обсяг виробництва продукції (робіт, послуг) у відповідних одиницях.

- ❖ **Хрономісткість виробу** (*capacity horseradish products*) – витрати ресурсів в одиницю часу.

$$P_m = M / t, \quad (2.12)$$

де:  $M$  – величина матеріальних ресурсів;  $t$  – проміжок часу.

## **12. Показники транспортабельності**

*Показники транспортабельності (indicators transportability) – показники якості, що характеризують пристосованість виробу до переміщення у просторі (транспортуванню), яке не супроводжується його використанням чи споживанням.*

Показники транспортування вибираються стосовно конкретного виду транспорту (морського, залізничного, автомобільного та ін.), а іноді і до конкретного виду транспортних засобів.

## **13. Економічні показники**

*Економічні показники (economic indicators) – показники, які характеризують витрати на розробку, виготовлення й експлуатацію виробу, а також економічну ефективність його експлуатації.*

Із безлічі економічних показників виділимо показник ефективності, який є одним із центральних в економічній теорії та практиці.

Ефективність визначається відношенням результату (ефекту) до витрат. Тоді, **показник економічної ефективності**  $E_e$  визначається (в процентах) діленням результату  $P$  на витрати  $B$ , тобто:

$$E_e = \frac{P}{B} \cdot 100\%. \quad (2.13)$$

Економічна ефективність спрямована на вдосконалення та підвищення прибутковості всієї господарської діяльності.

Показник економічної ефективності пов'язаний з іншими показниками, а саме виробничої, технічної та суспільної ефективності. Разом ці показники визначають ефективність економічної системи країни загалом.

## **14. Естетичні показники**

*Естетичні показники (aesthetic indicators) – показники якості, які характеризують композиційну цілісність, інформаційну виразність, раціональність форми, культуру виробництва (виконання виробу), оригінальність, гармонійність, цілісність, відповідність середовищу і стилю та інше.*

## **15. Екологічні показники**

*Екологічні показники (environmental indicators) – показники якості, які характеризують рівень шкідливих впливів на навколишнє середовище, що виникає при експлуатації або споживанні продукції. Це системні властивості продукції в аспекті впливу на довкілля.*

До екологічних показників відносяться наявність шкідливих домішок, які викидаються в навколишнє середовище, імовірність викидання шкідливих частинок, газів, аерозолів та електромагнітного випромінювання, а також шумове та іонізаційне забруднення, які виникають при збереженні, транспортуванні та експлуатації.

Розглянуті показники зобразимо на рис. 2.2. Очевидно, що площа рисунка недостатня для всіх показників, тому ми зобразили тільки основні.

Таким чином, екологічні показники відображають рівень шкідливої дії продукції на навколишнє середовище в процесах виробництва та експлуатації. Шкідлива дія обумовлюється фізичними (механічні, звукові, шумові, світлові, радіаційні тощо), хімічними, біологічними та ін. несприятливими факторами виробу, який експлуатується.

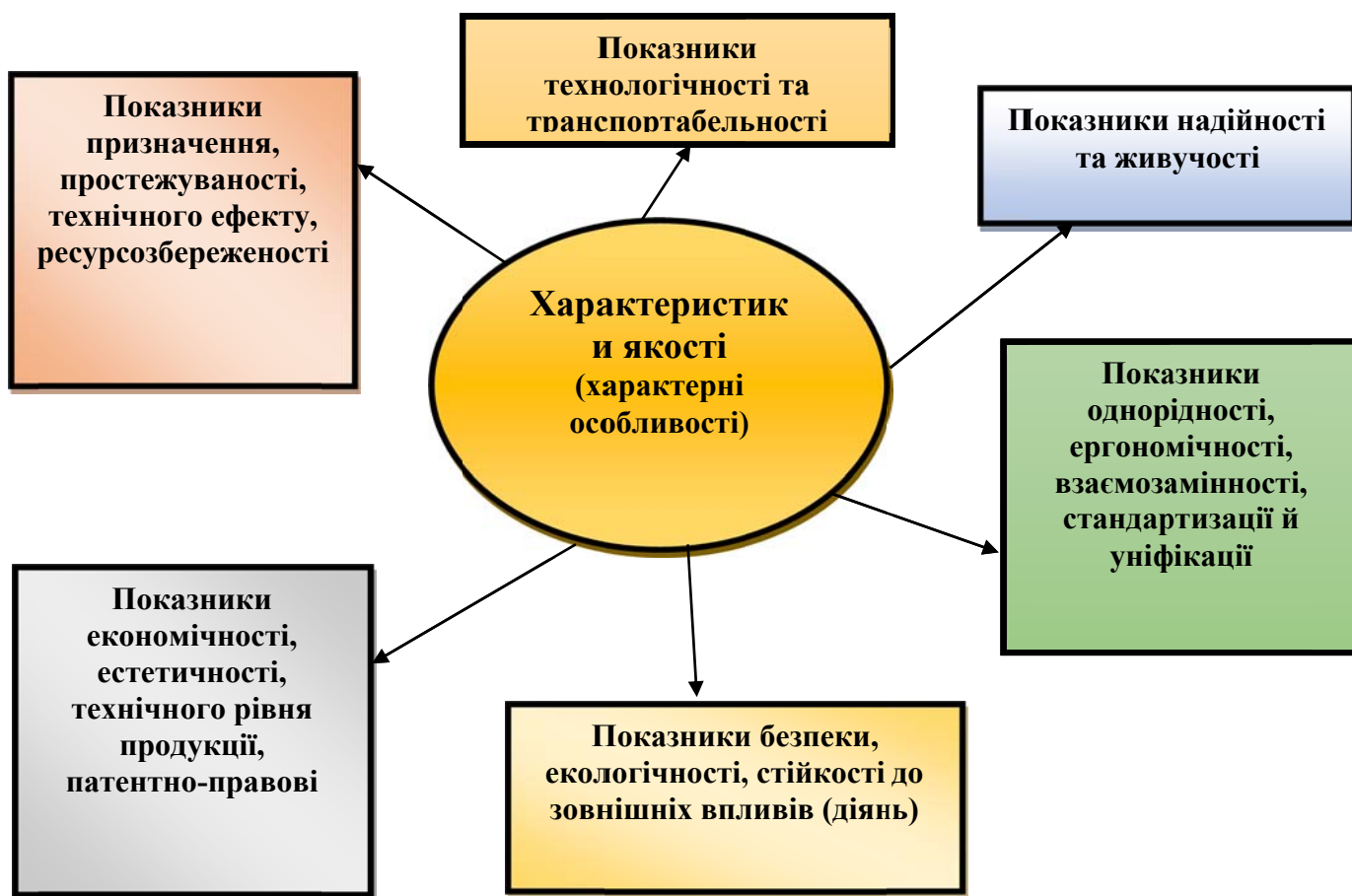


Рис. 2.2. Аналіз понять стосовно характеристик якості

### 16. Технічний рівень продукції

*Технічний рівень продукції (technical level of production) – відносна характеристика якості продукції, яка заснована на зіставленні значень показників, що характеризують технічну досконалість оцінюваної продукції, з відповідними базовими значеннями.*

При оцінюванні технічного рівня продукції велике значення має правильний вибір **базового зразка** – реально досягнута сукупність характеристик показників якості продукції, яка прийнята для порівняння. Ця сукупність має характеризувати оптимальний рівень якості продукції на певному заданому періоду часу.

Базовий зразок повинен мати таку саму номенклатуру показників якості, як і оцінюваний, і такі самі методи (методики) випробування, що дасть змогу зіставляти отримані результати.

### **17. Ергономічні показники**

*Ергономічні показники (ergonomic indicators) характеризують схему “людина – технічна система (виріб) – навколишнє середовище” і враховують комплекс гігієнічних, антропометричних, фізіологічних і психологічних властивостей людини, які проявляються у виробничих процесах.*

Таким чином, ергономічні показники пов’язані за всією сукупністю властивостей, що впливають на обслуговуючий персонал і сам виріб при функціонуванні системи “людина – машина – середовище”.

### **18. Патентно-правові показники**

*Патентно-правові показники (patent law indicators) характеризують патентний захист і патентну чистоту продукції і є суттєвими чинниками при визначенні їх конкурентоздатності.*

Патентно-правові показники характеризують патентний захист і патентну чистоту продукції і є суттєвим фактором при визначенні її конкурентоспроможності. Патентно-правові показники визначаються при завершенні розробки продукції.

При визначенні патентно-правових показників враховуються лише ті складові виробу, які впливають на рівень його якості.

---

## **2.3. Ієрархія рівнів якостей складних технічних систем**

---

Ієрархія й аналіз рівнів якості ТО. Класифікація ТО за рівнями якості. Стійкість (D-якість). Гомеостаз стану. Шумостійкість (I-якість). Керованість (C-якість). Поняття “чорного ящика”. Властивості керованих ТС. Функціональний гомеостаз. Аналіз керованих систем рефлексивного типу. Адаптивне самокерування (A-якість): суть, особливості. Самоорганізація (SO-якість). Синергетика. Самоорганізуючі системи. Інтелектуальність. Інтелектуальні системи (IS-якість). Методи створення інтелектуальних систем (IC). ТС, створені на основі IC. Системи нереклексивного типу. Прості детерміновані та ймовірнісні системи. Класифікація природних, технічних і виробничих систем. Загальна класифікація факторів, які впливають на ефективність функціонування ТС. Конфігуратор.

---

Розглянуті вище показники якості виробів, тобто системних об’єктів, є далеко не повними. Їх можна продовжити, якщо показники аналізувати з точки зору *ієрархії рівнів якості складних технічних систем (СТС)*.

Теоретичним підґрунтям є системотехніка, системний аналіз, системологія, інформатика, теорія самоорганізації, теорія проектування, кібернетика, теорія штучного інтелекту та інші наукові дисципліни [55; 83; 98; 110; 124; 150; 155; 168; 185; 200].

Вказаний науковий підхід дозволяє аналізувати вироби в напрямі зростання їх складності до рівня інтелектуальної системи, яка здатна до логічного аналізу складних завдань, прогнозу дій в умовах невизначеності, діалогу з людиною на природній мові, оперування знаннями, навчання, самовдосконалення та самовідтворення.

Ці властивості частково відносяться до сучасних, а в повній мірі до перспективних виробів штучного інтелекту та робототехніки.

Аналіз рівнів якості технічних об'єктів (ТО) здійснюється з метою упорядкування виробів промисловості за комбінованим показником, який об'єднує дві характеристики за допомогою знаку кон'юнкції (логічного “ і ”), поданого у формі амперсанда & :

### **Рівень якості ТО: Складність ТО & Сукупність чи система властивостей ТО**

Це важливо не тільки при використанні готових виробів, а насамперед, в аспекті їх проектування.

У залежності від складності технічних систем (від простих до складних – СТС) та цілей дослідження доцільно введення шести ієрархічних рівнів якості. Проаналізуємо вказані рівні та відповідні якості в порядку ускладнення систем.

#### **Перший рівень якості ТС – стійкість**

Відносно прості вироби техніки мають первинну якість – *стійкість* (*durability*, ***D-якість***), яка об'єднує такі властивості, як *міцність*, *твердість*, *збалансованість*, *стабілізація*, *надійність*, *динамічна стійкість* до впливу зовнішніх факторів.

Остання властивість має назву “*гомеостаз стану*”, який реалізується в *каузальних системах* зі зворотними негативними фізичними зв'язками.

Зазначимо, що *гомеостаз* – це система скоординованих реакцій, спрямованих на забезпечення, підтримання або відновлення сталості внутрішнього середовища системи.

Вказаний рівень якості відноситься до I-го класу ТС – це прості каузальні системи. Для них мета є екзогенним чинником і задається зовні цілями використання систем. Поведінка таких технічних систем є результатом дії причинно-наслідкових зв'язків.

#### **Другий рівень якості ТС – шумостійкість**

Для систем переробки інформації та зв'язку притаманна інформаційна якість (*Information quality*), або ***I-якість*** (***шумостійкість***) – це здатність системи без спотворень сприймати і передавати по каналах повідомлень інформаційні потоки.

Іншими словами, шумостійкість – це протидія завадам. Очевидно, що I-якість включає в себе якості попереднього рівня, а саме надійність систем переробки інформації та зв'язку, їх пропускну здатність, електромагнітна сумісність, можливість кодування тощо.

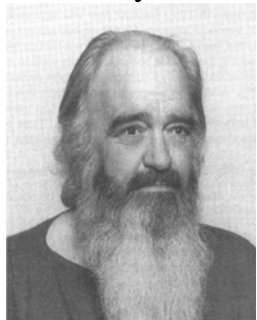
#### **Третій рівень якості ТС – керованість**

Наступний рівень є *керованість* (*control*, ***C-якість***) заводостійких СТС, які мають прямий і зворотний зв'язок та здатні переходити за певний проміжок часу із одного стану (наявного) в інший стан (потрібний) під дією керованих дій.



Бути керованою системою – це значить змінювати свої властивості так, як це потрібно системі, яка керує. Тут керованість треба розглядати в рамках *кібернетичного підходу* – дослідження складної системи на основі принципів кібернетики, зокрема за допомогою виявлення прямих і зворотних зв'язків, вивчення процесів управління (керування), розгляду елементів системи як “чорних ящиків”.

Зазначимо, що “чорний ящик” – це складна система, в якій досліднику доступна лише вхідна і вихідна інформація, а внутрішня будова системи може бути і невідома. Іншими словами, “чорний ящик”, або “чорна скринька” – термін, який використовується для позначення системи, принцип дії (механізм функціонування) якої невідомий або приймається невідомим, за виключенням того, що певному вхідному сигналу відповідає певний вихідний сигнал (рис. 2.3).



Поняття “чорний ящик” (“чорна скринька”) уперше введений кібернетиком У.Р. Ешбі в праці [219], а потім у 1960р. обґрунтоване англійським кібернетиком Біром.

**Ентоні Стаффорд Бір** (1926-2002) – британський кібернетик, який був теоретиком і практиком в галузі дослідження операцій та так званої “другої хвилі” кібернетики.

Е. С. Бір сформулював закон, який нині носить його ім'я (**закон Біра**): моделювання будь-якої системи, будова якої або невідома, або занадто складна для того, щоб можна було за властивостями складових частин та структури зв'язків між ними зробити висновок про її поведінку, передбачає включення в неї “чорного ящика” для відтворення малозначущих факторів зовнішнього середовища (погодних явищ тощо) [21].

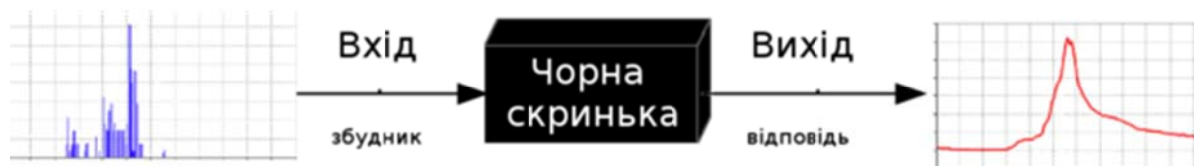


Рис. 2.3. Формальна модель системи типу “чорний ящик”

Далі прямо цитуємо Ст. Біра “Чорний ящик” дає нам ключ до оволодіння практичним методом, який слід використовувати для управління величезною різноманітністю дуже складних систем” [21, с. 78].

Ст. Бір був перший, хто застосував кібернетику для управління (керування) складними системами, визначивши *управління* як “науку ефективної організації” (1959р.). Акцентуємо увагу читачів на те, що термін “керування” ми використовуємо у випадку технічних систем (систем автоматичного керування, роботизованих систем, систем штучного інтелекту тощо), а термін “управління” – для людино-машинних систем (ергатичних) або соціальних (організаційних, виробничих, педагогічних тощо) систем.

Керованість об’єднує такі *властивості ТС*, як “жорсткість” програмного керування, оперативність, швидкість дії, інерційність, точність, стабільність. Це реалізується для систем зі зворотними негативними функціональними зв’язками

(саморегулюючі системи, системи автоматичного регулювання, екстремальні системи автоматичного керування тощо). Отримуючи інформацію (сигнали) про навколишнє середовище (довкілля) системи з С-якістю оцінюють своє положення по відношенню до границі гомеостазу (вектор X) і формують свої дії в залежності від характеру цієї інформації (вектор V).

Вказані системи (подібно живому організму) відносяться до класу **систем управління рефлексивного типу** і формують реальні рухи за допомогою зворотного зв'язку типу РЕАКЦІЯ = f(СИГНАЛ), тобто формально

$$V = f(X), \quad (2.14)$$

де f – знак функції.

Система намагається відійти від своєї гомеостатичної межі, яка пов'язана з ризиком виходу з програмного функціонування або з ризиком руйнування (*функціональний гомеостаз* забезпечує стійкість системи, якщо зв'язки між елементами системи являють собою взаємодію).

Розроблені до теперішнього часу СТС відносяться до класу керованих систем рефлексивного типу, які можуть здійснювати тільки **доцільні дії** (II-й клас ТС). Іншими словами, для вказаних технічних систем **мета** є екзогенним чинником (зовнішнього походження). Звідси випливає, що мета створення та існування технічного об'єкта визначається його призначенням (як засіб діяльності людей, як матеріальна потреба).

Як ми раніше відзначали, для II-го класу ТС (**доцільні, вирішальні системи**) мета є проміжним чинником, а поведінка систем є результат акту рішення (вибору альтернативи) за допомогою випадкового механізму, алгоритму, програми або завдань людини-оператора. Прикладами можуть бути адаптивні та самонавчальні системи, системи автоматичного керування (САК), роботи II-го покоління (адаптивні роботи), а також переважна більшість машин (автомобілів, верстатів, вугільних комбайнів, персональних комп'ютерів тощо).

Належить окремо виділити мікропрограмні автомати, цифрові керуючі автомати на основі постійних запам'ятовувачих пристроїв, мікропроцесорні системи захисту, а також керуючі системи на програмованих логічних контролерах [25].

#### **Четвертий рівень якості ТС – адаптивне самокерування**

Цей рівень пов'язаний з виробами, в яких реалізується **адаптивне самокерування** (*adaptive self-conduct*), тобто **A-якість**.

**Адаптація** (від лат. *adapto* – пристосовую) – “...здатність технічних чи інших пристроїв або систем пристосовуватися до мінливих умов навколишнього середовища або / і до своїх внутрішніх змін, що спричиняє до підвищення ефективності їх функціонування” [185, с. 45].

Адаптація широко застосовується в системах автоматичного керування (САК), в яких властивості об'єктів керування або були погано вивчені до початку процесу керування, або змінюються непередбачено під дією зовнішнього середовища. Зазначимо, що технічні адаптивні системи керування також відносяться до класу систем рефлексивного типу.

Можливі два основні способи організації процесу адаптації:

1. Організація при будь-якому фіксованому алгоритмі роботи пристрою керування (ПрК) процесу ідентифікації тих властивостей об'єкта керування, знання яких є істотним для функціонування САК. Отримана інформація використовується потім для відповідної зміни алгоритму роботи ПрК.
2. Процеси ідентифікації та зміни алгоритму роботи ПрК не розділяються та здійснюються одночасно.

Зазначимо, що термін *ідентифікація* (від лат. *identifico* – ототожнювати) означає ототожнення, прирівнювання, уподібнення, розпізнавання, вивчення. Ідентифікація – це процес розпізнавання системою або людиною (дослідником, операційною системою тощо) іншої системи або об'єкта (людини, предмета, процесу тощо). Ідентифікація у техніці – встановлення відповідності розпізнаваного об'єкта (предмета, явища, процесу тощо) своєму образу (знаку).

Очевидно, що алгоритм процесу адаптації визначається математичною моделлю (ММ) функціонування зовнішнього середовища, яка може бути детермінованою, стохастичною, нечіткою або комбінованою.

*Адаптивні системи* – системи, які зберігають працездатність в умовах непередбаченої зміни властивостей керованого об'єкта X, мети керування та умов довкілля за допомогою зміни алгоритмів свого функціонування або пошуку оптимальних станів.

Вказані вище системи здатні автоматично змінювати свою структуру та функції елементів у відповідності з вибраним алгоритмом. Такі системи здійснюють керування з неповною апріорною інформацією про процес керування та властивості зовнішнього середовища. До таких систем відносяться системи автоматичного стеження, фільтрації, ідентифікації, керування багатозв'язними об'єктами тощо.

Наявність у СТС (наприклад, у складній машині) підсистеми розпізнавання образів (зорових, слухових, тактильних та ін.) дозволяє їй отримувати інформацію від зовнішнього середовища та реалізувати керування в системі. Як тільки машина починає функціонувати, в ній з'являється упорядкованість, яка частково знищує невизначеність. Як пише Ст. Бір *“Інформація знищує різноманітність, а зменшення різноманітності є одним з основних методів регулювання, і не тому, що при цьому спрощується керована система, а тому, що поведінка системи стає більш передбачувана. Наявність “шуму” в системі веде до збільшення різноманітності (а, отже, і невизначеності), не збільшуючи наявної в ній інформації”* [21, с. 67] (курсив мій. – МК).

Очевидно, що відповідно до принципу Ешбі, успішно впорається з різноманітністю в керованій підсистемі (об'єкті керування) тільки така керуюча підсистема (зокрема, такий пристрій керування, як регулятор), яка має достатній рівень різноманітності, що сприяє адаптуванню до змін зовнішнього середовища. Проте, зі збільшенням різноманітності збільшується число можливих станів системи, ускладнюється її поведінка, і, як наслідок, виникають логіко-математичні труднощі в методах моделювання СТС.

## П'ятий рівень якості ТС – самоорганізація

Наступний рівень є **самоорганізація** (*self-organization, SO-якість*) – здатність системи змінювати свою структуру, склад, параметри, орієнтацію поведінки в цілях підвищення ефективності виконання своїх функцій. Термін “самоорганізація” ввів у науковий обіг У.Р. Ешбі.

Самоорганізуючі системи досліджує **синергетика** (від англ. *synergy* – узгоджена, спільна робота), яка виникла у другій половині ХХ ст. завдяки працям Г. Хакена, І. Пригожина, М. Фейгенбаума, Г. Ніколіса, Е. Лоренца, Д. Габора та ін. Автором терміна “синергетика” є німецький фізик-теоретик Герман Хакен (нар. у 1927 р.).

Синергетика виникла на стику декількох наук (фізики, хімії, біології, соціології, теорії систем і т. д.). Синергетика є міждисциплінарним науковим напрямом, який об'єднує теорію динамічного хаосу, **теорію фракталів** (складних самоподібних структур, що виникають у результаті самоорганізації), **теорію катастроф** (досліджує поведінку самоорганізуючих систем в термінах “біфуркація”, “нестійкість”, “аттрактор”), філософську теорію розвитку, прогностику, лінгвістику, семантику, фізику, хімію, біологію, прикладну математику та інші дисципліни.

У рамках синергетики вивчається спільна дія окремих частин будь-якої невпорядкованої системи, в результаті чого відбувається **самоорганізація** – виникають **макроскопічні просторові, часові або просторово-часові структури**. Досліджуються як детерміновані, так і стохастичні процеси.

**Самоорганізовані системи** (*self-organizing systems*), або **синергетичні системи** (*synergistic system, SS*) є **відкритими** (обмінюються зі зовнішнім середовищем енергією, речовиною та інформацією), істотно нерівноважними, **нестійкими** (знаходяться далеко від рівноважного стану) та **нелінійними** (з точки зору математичних моделей).

У цих умовах виявляється можливою **самоорганізація** – створення **упорядкованих просторово-часових структур, які отримали назву дисипативні структури** (автоструктури).

Прикладами дисипативних структур є перехід ламінарного потоку води в турбулентний, а також утворення (за певних умов) сніжинок з кристаликів льоду, пінки при охолодженні гарячого молока, комірок Бенара в рідині, органічних молекул тощо.

## Шостий рівень якості ТС – інтелектуальні системи

Останній рівень розвитку технічних систем – **інтелектуальні системи** (*intelligent systems, IS-якість*). Розгляд вказаних систем здійснюється на рівні **пошукового прогнозу**, тобто являють собою обґрунтовані судження про можливі стани певного об'єкта в майбутньому. Період випередження прогнозу понад 15 років (довгостроковий прогноз).

За **об'єкт прогнозування** раціонально брати інтелектуальну систему, яка є центральною категорією теорії штучного інтелекту.

Очевидно, що ми в цій праці обмежимося такими характеристиками об'єкта прогнозування, як ознаки (показники), не розглядаючи кількісні характеристики (змінні об'єкта прогнозування), які вимагають попередню побудову **динамічного**

*ряду*, виявлення в ньому тренду та передбачення прогнозової тенденції (про зміст вказаних понять читачі можуть дізнатися із джерел [44; 172]).

В одному ряду з поняттям інтелектуальні системи стоїть поняття інтелектуалізація. Дамо їм означення.

**Інтелектуалізація** (від лат. *intellectus* – розум, розуміння, пізнання) означає істотне розширення меж і основних процесів людської чи машинної (комп'ютерної) пам'яті (запам'ятовування, збереження, відновлювання), а також формування та розвиток критеріїв креативності (швидкість, гнучкість, оригінальність, точність) як параметрів дивергентного мислення [116].

**Інтелектуальна система** (*Intelektualna system, ІС*) – комп'ютерна система, ядром якої є база знань (БЗ), тобто модель проблемної / предметної області, що описана на мові надвисокого рівня (зазвичай наближеної до природної) [35; 176]. Ці системи здатні до логічного аналізу складних завдань, прогнозу дій в умовах невизначеності, діалогу з людиною на природній мові, оперування знаннями, а головне – навчатися.

У наш час можна виділити чотири досить різних **методи створення інтелектуальних систем**, які мають кінцеву мету, пов'язану з дослідженням таємниць мислення та створення моделі мозку:

1. **Логічний підхід** та основа дослідження – алгебра логіки.
2. **Структурний підхід** – це спроби побудови ІС шляхом моделювання структури людського мозку (нейронні мережі та їхні реалізації – нейрокомп'ютери).
3. **Еволюційний підхід** – генерація моделей (алгоритмів) та їх еволюція (зміна), зокрема генетичний алгоритм.
4. **Імітаційний підхід** – дослідження поведінки об'єкта шляхом імітації за допомогою “чорного ящика”.

**Технічні системи, які створені на основі штучного інтелекту** повинні розпізнавати образи та розуміти, знаходити спосіб досягнення результату, приймати рішення, вчитися, самозберігатися, самовідновлюватися, самовідтворюватися.

До основних якостей таких систем відноситься **цілеспрямованість** функціонування, розвитку та відтворення.

До класу інтелектуальних систем входять експертні системи. **Експертна система** – “...програма для комп'ютера, яка оперує зі знаннями в певній предметній галузі з метою вироблення рекомендацій або вирішення проблем” [52, с. 19]. Експертні системи мають блок генерації цілей, а система виводу намагається довести ці цілі як теореми. Якщо певна мета досягнута, то послідовність використаних правил дозволить отримати ланцюжок дій, необхідних для реалізації поставленої мети.

На відміну від розглянутих вище систем рефлексивного типу, сучасні системи штучного інтелекту, роботи третього покоління, ергатичні системи, соціально-технічні системи, соціальні системи, кібернетичні системи, економічні системи тощо – це складні **системи нерефлексивного типу**. Для таких систем зв'язок “сигнал  $\Rightarrow$  реакція” вже не має характеру рефлексу. Це означає, що в залежності  $V = f(X)$  функція  $f$  стає складним оператором  $F$ , який породжує мноозначність можливих дій, пов'язаних з множиною цілей поведінки, які дуже складно

формалізувати:

$$V = F(X). \quad (2.15)$$

Переходячи до ІС, які в майбутньому будуть широко впроваджуватися в техніку та у виробництво, зазначимо, що це цілеспрямовані СТС ІІІ-го класу, в яких мета є ендогенним чинником (внутрішнього походження) та результатом інформаційних взаємодій, а поведінка цих систем ґрунтується на розпізнаванні образів, комп'ютерній обробці отриманої інформації, “розумінні й аналізу” визначеної ситуації, виділенні проблеми та конкретних завдань, прийнятті рішення (інтелектуальний вибір), аналізі отриманих результатів. Прикладами таких можуть бути роботи ІІІ-го покоління (інтелектуальні роботи), системи штучного інтелекту, ергатичні організми майбутнього тощо.

Маючи уявлення про технічні системи, які належать до трьох класів, виникає бажання їх класифікувати. Дороговказом візьмемо працю Ст. Біра, який системи класифікував за складністю за трьома типами: прості, складні, дуже складні [21].

Дотримуючись праці Ст. Біра (див. [21, с. 34]), наведемо, практично без змін, класифікацію систем за двома ознаками – складність і характер поведінки (табл. 2. 2):

Таблиця 2.2

Класифікація природних, технічних і виробничих систем

Системи	Прості системи	Складні системи	Дуже складні системи
Детерміновані	Віконна засувка	Сучасна цифрова електронно-обчислювальна машина	–
	Проект механічних майстерень	Автоматизація	–
Імовірнісні	Падіння монети на стіл з бінарним результатом	Зберігання запасів виробів на складі	Економіка
	Рух медузи	Умовні рефлекси	Мозок
	Статистичний контроль якості продукції	Прибуток промислового підприємства	Фірма

Якщо за основу взяти прості системи, то складні системи характеризуються великою різноманітністю внутрішніх зв'язків і розгалуженою структурою. Розіб'ємо відомі системи на два класи: детерміновані та ймовірнісні. Перші являють собою клас систем, в яких складові частини взаємодіють між собою точно передбачуваним чином (без наявності невизначеності), а для систем іншого класу не можна зробити точного детального передбачення, тобто ці системи мають певну невизначеність.

На основі вказаних базових уявлень, можна дати спрощені означення для таких складових типів систем:

❖ **Проста детермінована система** – система, яка складається з невеликого числа елементів і невеликого числа внутрішніх зв'язків та характеризується

цілком визначеною динамічною поведінкою. У цих системах при фіксованих зовнішніх умовах і способі управління (керування) перехід з одного стану в інший цілком визначений.

❖ **Проста ймовірнісна (стохастична, випадкова) система** – це система, в якій взаємодія між складовими елементами призводить до того, що не можна зробити точного, детального передбачення її поведінки. Така система завжди залишається невизначеною і формальний опис її майбутньої поведінки здійснюється інструментарієм теорії ймовірностей. Прикладом може бути динамічна система, яка являє собою падіння монети на стіл з бінарним результатом: випадає герб або цифра.

Розглянемо **класифікацію факторів**, які впливають на ефективність функціонування ТС (табл. 2.3), а також визначають вибір прийняття рішення в детермінованих і стохастичних умовах.

Таблиця 2.3

Загальна класифікація факторів, які впливають на ефективність функціонування технічної системи (ТС)

По відношенню до ТС	За характером походження	За характером дій на ТС	За інтенсивністю дій	За ступенем керованості	За спрямованістю дій
Внутрішні Зовнішні	Природні Штучні	Фактори прямої дії Фактори непрямої дії	Сильні Середні Слабкі	Керовані Некеровані	Сприятливі Несприятливі Нейтральні

Окрім висвітлених в табл. 2.3, можна додати ще фактори, які визначаються ступенем інформованості:

- визначені фактори** – фактори, значення яких виражені в метричних шкалах та відомі досліднику з потрібною точністю. Створити детерміновану факторну систему – значить представити досліджуване явище у вигляді алгебраїчної суми, частки чи добутку декількох факторів, що визначають його величину.
- невизначені фактори** – фактори, інформація про які недостатньо повна для розв'язання поставленого завдання. Крайній випадок невизначеності є повна відсутність інформації про фактор (повне незнання). Ці фактори частіше всього входять у розряд невраховуваних або некерованих.

Звичайно **невизначені фактори** поділяють на дві групи:

- ❖ Стохастичні фактори .
- ❖ Нестохастичні фактори.



Для опису всієї сукупності факторів і (або) чинників В.А. Лефевр увів поняття “**конфігуратор**” (від англ. *configurator* – формувач) – набір різних мов опису досліджуваної системи, достатній для проведення системного аналізу даної проблеми [127].

**Володимир Олександрович Лефевр** (народ. в 1936 р. у Ленінграді), радянський і американський психолог, математик,

творець концепції рефлексивних ігор і “обчислювальної психофеноменології”, професор Каліфорнійського університету в Ірвайні.

Конфігуратор визначається природою проблеми, яка являє собою складний абстрактний об'єкт, що включає ресурси, цілі, суб'єкти діяльності, а також ряд факторів і (або) чинників (економічних, матеріальних, фінансових, політичних і т. д.). Компоненти проблеми доцільно подати у вигляді ієрархічної структури з метою створення моделі *проблемовирішуючої системи* (див. [162]).

Різноманітність факторів суттєво збільшиться, якщо ми крім технічних розглядають технологічні, економічні, екологічні, працехоронні, соціальні, педагогічні, політичні та інші фактори. Зауважимо, що в соціальних сферах діяльності (сферах, пов'язаних з діяльністю людини) об'єктивний термін “*фактор*” замінюється на суб'єктивний термін “*чинник*”.

**ДВ**→ Наведемо приклади конфігураторів:

1. У математиці. Щоб задати будь-яку точку n-мірного простору застосовується конфігуратор – ортогональна система координат.
2. Нарисна геометрія. Конфігуратор для опису поверхні будь-якого тривимірного тіла на “мові площини” є сукупність трьох ортогональних проєкцій.
3. У радіотехніці. Конфігуратор для приладів є блок-схема, принципіальна схема і монтажна схема.
4. Соціологія, педагогіка. Конфігуратор для опису якостей працівника узагальнено складається з трьох характеристик: професійна компетентність, моральні якості, духовні якості.
5. Теорія організаційних систем. Конфігуратор складається із опису розподілу влади (структури підпорядкованості), розподілу відповідальності (структури функціонування) і розподілу інформації (організація зв'язку і пам'яті системи, накопичення досвіду, навчання тощо).

Таким чином, поняття “конфігуратор” можна застосувати для опису всієї сукупності факторів і (або) чинників. ◀

## Контрольні запитання

№ з/п	Контрольні запитання	№ з/п	Контрольні запитання
1.	Дати означення поняття “продукція”.	45.	У чому проявляється вплив композиційних, технічних й ергатичних факторів на працівника ?
2.	Від яких основних складових залежить якість продукції ?	46.	Що таке допуск параметра ?
3.	Які існують класи характеристик виробів (товарів, послуг) ?	47.	Що називається простими детермінованими системами ?
4.	Які існують типи характеристик виробів (продукції) ?	48.	Що називається простими ймовірнісними системами ?
5.	Дати означення поняття “якість”.	49.	Що таке система рефлексивного типу ?
6.	Які групи властивостей притаманні ТО ?	50.	Скільки встановлено ступенів точності для кожного виду допуску форми або розташування ?
7.	Які цілі поведінки (функціонування) ТС ?	51.	Які властивості виробу оцінюються за допомогою показників технологічності?
8.	Які принципи організації ергатичних систем ?	52.	Яка мета аналізу рівнів якості ТО ?



9.	Що таке ознаки, параметри та показники якості продукції ?	53.	Розкрити суть ієрархії й аналіз рівнів якості ТО.
10.	Що таке “головний параметр” ?	54.	Дати класифікацію ТО за рівнями якості.
11.	Що таке “основний параметр” ?	55.	Що таке стійкість (D-якість) ?
12.	Що таке “допоміжний параметр” ?	56.	Що таке гомеостаз стану?
13.	Що таке рівень якості продукції (ЯП) ?	57.	Що таке шумостійкість (I-якість) ?
14.	Що таке “граничне значення показника якості продукції” ?	58.	Що таке керованість (C-якість) ?
15.	Дайте характеристику функціонального показника ЯП.	59.	У чому суть кібернетичного підходу ?
16.	Дайте характеристику ресурсозберігаючого показника ЯП.	60.	Що таке “чорний ящик” ?
17.	Дайте характеристику природоохоронного показника ЯП.	61.	Які властивості ТС об’єднує керованість ?
18.	Дайте характеристику показника призначення ЯП.	62.	Що таке функціональний гомеостаз ?
19.	Дайте характеристику показника надійності ЯП.	63.	Які системи відносяться до класу систем управління рефлексивного типу ?
20.	Що таке “емерджентні якості” ?	64.	Здійснити аналіз керованих систем рефлексивного типу.
21.	Дайте характеристику показника живучості ЯП.	65.	У чому суть систем нерефлексивного типу ?
22.	Що є мірою структурної організації системи ?	66.	Назвати суть, особливості адаптивного самокерування (A-якість).
23.	Що є мірою поточної невизначеності системи ?	67.	Назвати приклади ТС II-го класу.
24.	Що є мірою максимальної невизначеності системи?	68.	У чому суть закону керування ?
25.	Дайте характеристику показника простежуваності ЯП.	69.	Сформулювати означення “адаптація”.
26.	З якими факторами пов’язана простежуваність ?	70.	Які існують два основні способи організації процесу адаптації ?
27.	Дайте характеристику показника безпеки ЯП.	71.	Що таке “адаптивна система” ?
28.	Дайте характеристику показника однорідності ЯП.	72.	Яка сфера досліджень синергетики ?
29.	Дайте характеристику показника стандартизації й уніфікації ЯП.	73.	У чому суть самоорганізуючих систем ?
30.	Дайте характеристику такого показника ЯП, як “стійкість до зовнішніх впливів”.	74.	Що таке “самоорганізація системи” ?
31.	Дайте характеристику показника технологічності ЯП.	75.	Що таке SO-якість ?
32.	Дайте характеристику показника транспортабельності ЯП.	76.	Що таке інтелектуальність ?
33.	Дайте характеристику показника естетичності ЯП.	77.	Що таке IS-якість ?
34.	Дайте характеристику показника економічності ЯП.	78.	Назвати методи створення інтелектуальних систем.
35.	Дайте характеристику показника екологічності ЯП.	79.	Назвати ТС, що створені на основі ІС ?
36.	Дайте характеристику такого показника ЯП, як “технічний рівень продукції”.	80.	Які функції технічних систем, що створені на основі штучного інтелекту ?

37.	Дайте характеристику показника ергономічності ЯП.	81.	У чому відміна систем нереклексивного типу від систем рефлексивного типу ?
38.	Дайте характеристику показника взаємозамінності ЯП.	82.	Класифікація природних, технічних і виробничих систем.
39.	Дайте характеристику патентно-правового показника ЯП.	83.	Що таке “кібернетична система” ?
40.	Наведіть приклади взаємозв’язку показників якості продукції.	84.	Класифікація факторів, які впливають на ефективність функціонування ТС.
41.	Що таке адаптація ?	85.	Яка відміна нестохастичних факторів від стохастичних ?
42.	Що таке самоорганізація ?	86.	Що таке “конфігуратор” ?
43.	Що таке структурна та функціональна надмірність ?	87.	Де застосовується поняття “конфігуратор” ?
44.	Що означає позначення IP 44 в технічному паспорті виробу ?	88.	У чому подібність та відміна систем технічних і біологічних ?



---

## Розділ 3. ЕВОЛЮЦІЯ МИСЛЕННЯ В СФЕРІ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ: МЕТОДИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

---



*“Не зустрічаються ситуації, в яких з очевидністю відмова від вибору буде добрим рішенням. Прийняти рішення, як правило, порівняно легко. Все, що при цьому робить людина зводиться до вибору направлення дій. Важко прийняти добре рішення”*

М. Мінський

---

### 3.1. Якість управлінської діяльності та управлінських рішень

Якість продукції, якість управлінської діяльності та управлінських рішень. Основні складові якості управлінських рішень. Основні складові реалізації в колективі якісних управлінських рішень. Нормативно-правова узгодженість управлінських рішень. Управлінські рішення та внутрішні вимоги організації.

---

Якість матеріальної продукції (виробів) є сукупністю характеристик об'єкта, що відноситься до його здатності задовольняти встановлені чи передбачувані потреби. Зростання потреб людини неминує викликає необхідність покращення якості виробів та збільшення різноманітності їх номенклатури. Все це вимагає не тільки модернізації (змін відповідно сучасним вимогам) технічної бази, застосування нових матеріалів, технологій проектування та виробництва, а також покращення якості управлінської діяльності та культури управлінських рішень.

*Якість управлінської діяльності – це ступінь її відповідності загальноприйнятим вимогам і стандартам (питання стандартизації детально будуть висвітлені авторами у наступному підручнику).*

Зазвичай про якість управлінської діяльності судять за якістю управлінських рішень.

*Якість управлінських рішень – це сукупність визначених властивостей, які має управлінське рішення, за допомогою якого є можливість успішно розв'язати виробничі завдання та вирішити виробничі проблеми.*

До основних складових якості управлінського рішення відноситься:

1. Організаційна.
2. Економічна.
3. Технологічна.
4. Екологічна.
5. Соціальна.
6. Правова.
7. Психологічна.
8. Етична.
9. Політична.

Кожна вищеназвана складова якості управлінського рішення вносить свій внесок у загальну якість. Проте належить виділити організаційну сторону. Вона передбачає, насамперед, створення творчого та працездатного колективу. При цьому, керівник повинен створити добрі та стимулюючі умови для ефективної роботи колективу.

До основних складових реалізації в колективі якісних управлінських рішень відносяться такі: .

- 1) створення творчої обстановки при підготовці управлінських рішень;
- 2) забезпечення розробників повною, релевантною та своєчасною інформацією;
- 3) використання сучасних інформаційних технологій;
- 4) застосування евристичних методів вирішення науково-виробничих, технологічних й організаційних проблем (мозкова атака, метод Дельфи, функціонально-вартісний аналіз і т. ін.);
- 5) використання знань експертів і досвіду досвідчених фахівців та робітників;
- 6) широке застосування ситуаційного підходу в управлінні;
- 7) застосування міжнародних стандартів з якості управління (ISO: 9001, ISO: 9002, ISO: 9003, ISO: 9004 та ін.);
- 8) здійснення моніторингу рішень.

Основні норми, правила, документи, яким повинні відповідати управлінські рішення (УР) подані в табл. 3.1.

Таблиця 3.1

Нормативно-правова узгодженість управлінських рішень

Найменування сторін якості	Основні норми, правила, документи, яким повинні відповідати УР
Організаційна	Регламенти, інструкції, прийняті на підприємстві (фірмі, компанії і т. ін.)
Економічна	Сертифіковані методи економічних розрахунків
Технологічна	Національні чи світові технологічні нормативи
Екологічна	Стандарти ISO 14000 та стратегія сталого розвитку (система стандартів ISO 14000, яка орієнтована на кількісні параметри – обсяг викидів, концентрації речовин тощо)
Соціальна	Якість життя людей, задоволення їх потреб
Правова	Національні та міжнародні законодавчі акти та права людей
Психологічна	Правова соціалізація громадянина
Етична	Прогресивні традиції і норми співжиття
Політична	Програма національного розвитку

Недостатня увага до методології і процесу управління знижує величезні зусилля, спрямовані на сам процес виробництва, так як управлінські рішення можуть занепасти ефективного використання найсучаснішої технології.

В локальному аспекті, **якість управлінського рішення** – це ступінь відповідності управлінського рішення внутрішнім вимогам організації: стандартам, інструкціям, колективному договору і т. ін.

При розробці і реалізації управлінських рішень керівник повинен приділяти увагу кожному етапу процесу розробки і реалізації управлінського рішення. Якість

кожного етапу вносить істотний внесок у загальну оцінку якості всього управлінського рішення.

Очевидно якість управлінського рішення визначається методом її реалізації. У практиці людської діяльності розрізняються такі **методи прийняття рішень**:

1. **Автоматичний метод**, який реалізується на рівні біологічних механізмів інстинктів і рефлексів.
2. **Метод проб і помилок**, коли здійснюється несвідомий (некерований) або свідомий (керований) перебір ситуацій і пошук найкращого варіанта (режим самонавчання).
3. **Метод звернення до авторитетів** (авторитарні, або вольові рішення; інтуїтивні рішення; рішення на основі дискурсивного мислення, яке ґрунтоване на життєвому досвіді людини).
4. **Науковий (формалізований) метод**, який в загальному випадку має такі етапи прийняття (ухвалення) рішення: *Визначення проблеми*  $\Rightarrow$  *Збір необхідної інформації*  $\Rightarrow$  *Формулювання проблеми*  $\Rightarrow$  *Визначення критеріїв оптимізації та обмежень*  $\Rightarrow$  *Вибір головного критерію*  $\Rightarrow$  *Розробка альтернативних варіантів вирішення проблеми*  $\Rightarrow$  *Оцінювання наслідків реалізації альтернативних рішень*  $\Rightarrow$  *Вибір оптимального варіанта рішення*  $\Rightarrow$  *Погодження рішення*  $\Rightarrow$  *Прийняття рішення*  $\Rightarrow$  *Розробка плану реалізації рішення*  $\Rightarrow$  *Реалізація рішення*  $\Rightarrow$  *Коригування рішення*  $\Rightarrow$  *Оцінювання ефективності рішення*  $\Rightarrow$  *Підведення підсумків*.

---

## 3.2. Загальні уявлення про методи прийняття рішень

---

Мета, критерії мети. Стратегія. Досягнення мети. Альтернативи. Оптимальна альтернатива. Критерій або цільова функція. Багатокритеріальність. Операція. Дослідження операцій і прийняття рішення як складові частини системного аналізу. Вирішення проблем. Вибір. Задачі вибору. Множинність задач вибору. Дослідження операцій. Послідовність дій при вирішенні проблем унікального вибору. Простір стратегій. Оптимальна альтернатива. Принципи оптимальності. Основні класи задач прийняття рішень. Роль теорії прийняття рішень в теорії управління якістю.

---

Наявність множини цілей викликає необхідність їх упорядкування. Виникає проблема про структурування множини цілей. До методів структурування відносяться класифікація, стратифікація, ранжування [54].

Наявність упорядкованої сукупності цілей спричиняє до необхідності вибору правильної (з математичної точки зору – “оптимальної” мети). Ця процедура передбачає розгляд поняття **альтернатива** (від фр. *alternative* – один з двох) – *необхідність вибору (при розв’язанні того чи іншого питання) із двох або декількох можливостей, які виключають одна одну*.

*Процедура вибору альтернативи із заданої множини є прийняття рішення.*

Вибір певної (оптимальної чи раціональної) альтернативи (варіанта)  $A_i$ ,  $i = \overline{1, g}$  із множини альтернатив  $\mathfrak{R}$ , можна подати, як диз’юнкція:

$$\mathfrak{R} = \{A_1 \vee A_2 \vee A_3 \vee \dots \vee A_g\}. \quad (3.1)$$

Цілі можна розташувати у вигляді певної ієрархії. При низхідному просуванні по “дереву цілей” узагальнена абстрактна мета (*глобальна мета*) поступово трансформується в *конкретну мету*, а саме зовнішня мета у внутрішню, стратегічна у тактичну, потенційна в актуальну, нормативна у ситуаційну, “жорстка” у гнучку, об’єктивна у суб’єктивну тощо.

*Дія над множиною альтернатив, у результаті якої отримують підмножину обраних альтернатив – ухвалення рішення.*

Множину альтернатив можна зменшити за умови, коли є спосіб порівняння альтернатив між собою та визначення найкращих. Кожний такий спосіб називають *критерієм переваги*, який може бути якісний чи кількісний.

Таким чином, перед постановкою мети діяльності або для оцінювання альтернатив необхідно вибрати *критерій* (від лат. *critērium*) – *відмінна ознака, мірило, оцінка, модель, цільова функція, функціонал, функція мети, параметр оптимізації, вихід чорного ящика, критерій якості, критерій оптимізації*.

Як зазначають Ф.И. Перегудов, Ф.П. Тарасенко, критерій – це подібність мети, її апроксимація (наближений вираз), кількісна модель якісної мети. Критерій – це “кількісна модель якісних цілей” [162, с. 321].

До *ознак критерію мети* відносяться такі:

- критерій фіксується в порядковій або в метричній шкалі;
- оцінювання за одним критерієм може дати далеко не достовірний результат, тому застосовують декілька критеріїв;
- критерій (як і всяка модель) лише приблизно відображає мету, тому для більш адекватного оцінювання мети необхідно використовувати *багатокритеріальність*, тобто декілька критеріїв, які з різних боків відтворюють мету, доповнюючи описи мети;
- справа не в кількості критеріїв, а в тому, наскільки вони достатньо повно “покривають” мету;
- побудова критеріїв є більш мистецтвом, аніж наукою.

Таким чином, перед постановкою мети діяльності необхідно вибрати *критерій мети* – *модель мети, яка відіграє роль засобу для подальшого порівняння альтернатив*. Відсутність об’єктивного критерію, який відіграє роль засобу для порівняння альтернатив, призводить до того, що можуть реалізовуватися як неефективні (мета не досягається), а також неприпустимі (недозволені) альтернативи.

*Цільова функція системи (функціонал)*  $\psi$  – формальний вираз мети для систем управління чи керування. Цільова функція системи  $\psi$  залежить від векторів: параметрів системи  $X$ , параметрів зовнішнього середовища (збурення)  $G$  і параметрів управління або керування  $Q$ , тобто  $\psi(X, G, Q)$ .

У вузькому сенсі, цільова функція  $\psi$  – *функція*, що зв’язує мету  $\Psi$  (змінну, що оптимізується) з керованими змінними  $Q_i, i = \overline{1, n}$  в задачі оптимізації.

У широкому сенсі, *цільова функція*  $\psi$  – *це математичний вираз деякого критерію якості одного об’єкта ПГ чи ПО, а саме предмета, процесу, рішення тощо в порівнянні з іншим*.

*Досягнення мети* є завданням відносно більш прагматичним, аніж формулювання мети. Проте тут також виникає проблема альтернативності та прийняття рішення при спробі досягнення складної мети.

Як наслідок, задача досягнення мети  $\Psi$  формалізується за допомогою символу імплікації таким чином:

$$\psi (X, G, Q) \Rightarrow \Psi . \quad (3.2)$$

Аналіз верхніх рівнів ієрархії цілей дозволяє досліднику сформулювати *простір стратегій* або кінцеву множину *альтернатив*  $A_i (i = 1, 2, \dots, g)$ , тобто методів, способів, варіантів або / і засобів досягнення мети.

**Стратегія** (грец. *στρατηγία* – мистецтво полководця) – це спосіб досягнення складної мети, або загальний, недеталізований план певної діяльності, який охоплює тривалий період часу.

Загальний (абстрактний) план втілюється на практиці у вигляді конкретного **плану** певної діяльності.

Як правило, *способи досягнення складної мети* реалізуються як **операція** (лат. *operatio* – дія) – це упорядкована в часі сукупність зв'язаних взаємними відношеннями дій, які направлені на досягнення деякої мети.

Іншими словами, операція – цілеспрямована дія чи сукупність послідовних дій, спрямованих на досягнення будь-якої мети.

М.М. Моїсєєв трактує операцію як будь-яку цілеспрямовану дію, а її модель складається із суб'єкта (оперуючої сторони), який формулює мету операції, запас активних засобів (ресурсів) для проведення операції, набору стратегій, тобто способів використання цих ресурсів, і критерія – способу порівняння різних стратегій, які переслідують досягнення мети операції [140].

**Ситуація** (від середньовічного лат. *situatio* – положення) – поєднання умов і обставин, що створюють певну обстановку, стан. Розглядаючи конкретну ситуацію, можна розглянути ще три означення:

- 1) **процедура** – опис можливих дій, які необхідно вчинити в конкретній ситуації;
- 2) **мета** – це бажаний результат операції, який, можливо, досяжний за деякий проміжок часу;
- 3) **простір стратегій** – скінченна множина альтернатив  $A_i (i = \overline{1, g})$ , тобто методів, способів, варіантів або / і засобів досягнення мети.

Належить зазначити, що цілепокладання і прийняття рішення з вибору альтернативи мають різну значущість. Як вказують Ф.І. Перегудов і Ф.П. Тарасенко “встановити правильну мету важливіше, ніж знайти найкращу альтернативу. Не найкраща альтернатива все-таки і веде до мети, нехай не оптимальним способом. Вибір же неправильної мети призводить не стільки до вирішення самої проблеми, скільки до появи нових проблем” [162, с. 320]. Іншими словами, маючи одну проблему, і не розв'язавши її, можна породити клубок проблем (проблематику), які нерозривно пов'язані з проблемою, яка підлягала вирішенню.

**ДВ**→ Як вказує О.І. Ларічев [126], прийняття рішень (вміння розпоряджатися) є центральним елементом адміністративної діяльності, по відношенню до якого всі інші види діяльності можуть розглядатися як допоміжні. **Прийняття рішення** він розуміє як *особливий вид людської діяльності, направлений на вибір кращої з наявних альтернатив*. При цьому вказаний дослідник розглядає вибір нових для керівника об'єктів вибору (варіанти унікальних проектів) або

вибір здійснюється кожен раз в різних умовах (розробка перспективних планів). Ці складні види вибору входять в розряд “**унікальний вибір**”, або вибір в унікальних ситуаціях.

Ситуація унікального вибору характеризується трьома необхідними елементами:

- 1) виявлення або наявності проблеми, що вимагає вирішення;
- 2) наявності людини, або колективного органу, що приймає рішення;
- 3) наявності декількох альтернатив, з яких здійснюється вибір.

При відсутності одного з цих елементів процес вибору перестає існувати. Крім цього, в часто повторюваних ситуаціях рішення також повторюються. Тому з плином часу подібний образ дій закріплюється, і вибір також перестає існувати.

Враховуючи, що ядром складу проблеми є ресурси і цілі, О.І. Ларічев розглядає таку структурну схему дій вирішення проблем (рис. 3.1).

Вихідним у вирішенні будь-якої проблеми є попереднє виявлення й аналіз проблеми. Тут можна відзначити одну з основних задач системного аналізу – **структуризація проблем**. Підвищення ступеня структуризації конкретної проблеми дозволяє зробити її “більш прозорою”, більш доступною для огляду в межах певної ПГ. Це зазвичай буває можливо для компетентного фахівця (вченого, керівника підприємства, бізнесмена і т. п.) або експерта в даній ПГ. Структуризація проблеми полегшує в максимально можливій ступені структурувати процес прийняття рішення.

Слід зауважити, що труднощі **унікального вибору** спостерігаються при розгляді неповторних і нестандартних ситуацій, а також при вирішенні слабо структурованих проблем.

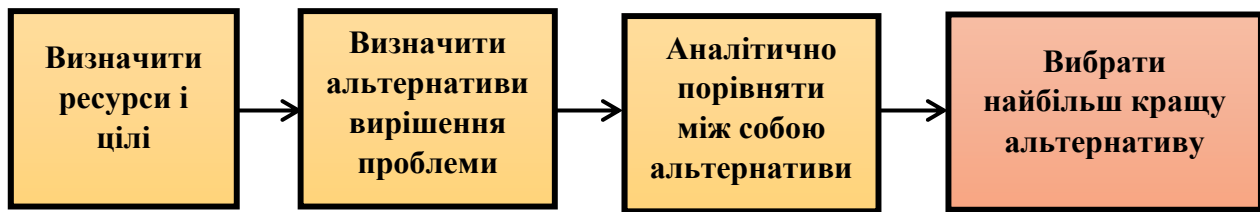


Рис. 3.1. *Послідовність дій вирішення проблем унікального вибору*

**Проблемні ситуації**, як правило, мають багатокритерійний характер. Це означає, що кожну альтернативу необхідно оцінювати одночасно за багатьма показниками. При цьому виникає питання про повноту списку показників, їх природу (фізичну, технічну, економічну та ін.), їх якісну та кількісну визначеність, можливість їх оцінювання відповідними критеріями.

Відзначимо, що в деяких випадках вдається звести задачу структуризації проблеми до певного модельного або теоретико-ігрового дослідження чи до дослідження операцій за умови “прозорості” конкретної проблеми і квантифікації спостережуваних чи експериментально вивчених факторів (чинників). Але часто реалізувати це не дозволяє суб’єктивізм оцінок якості альтернатив.

Як зазначено вище, **вибір** є дією, що надає конкретній діяльності людини ознаку **цілеспрямованості**. Реалізація попередньо поставленої суб’єктом чи групою суб’єктів мети в конкретній ситуації означає вибір (прийняття рішення) та отримання певного результату. Проте, відповідно до виразу (3.14), звично для складних задач розглядається множина альтернатив  $A_i, i = \overline{1, g}$ . Об’єкти вибору (матеріальні чи нематеріальні), які складають вказану множину можна назвати елементами. Вказана множина може бути скінченною, або зліченною, або незліченною.

Як стверджується в теорії множин [79], **скінченна множина** – це множина, кількість елементів якої є скінченна, тобто існує натуральне число  $k$ , що є числом елементів цієї множини. В протилежному випадку множина є нескінченною. **Зліченна множина** – така нескінченна множина, елементи якої можна занумерувати натуральними числами. Множина, яка не є



зліченною, називається *незліченою*. Будь-яка підмножина зліченної множини або зліченна, або скінченна.

Очевидно, що зліченна множина є множиною, яка *рівнопотужна* (еквівалентна) множині натуральних чисел  $\mathbb{N}$  (між цими множинами можна встановити взаємно однозначну відповідність).

Формально маємо, що множина  $X$  є зліченою, якщо існує бієкція, тобто відображення, яке є одночасно сюр'єктивним й ін'єктивним. Тобто бієктивне відображення є взаємно-однозначним відображенням

$$f: X \rightarrow \mathbb{N} \quad (3.3)$$

Зліченна множина альтернатив є найменшою нескінченною множиною в тому розумінні, що в будь-якій нескінченній множині знайдеться зліченна підмножина.

Зазначимо, що незліченна множина, яка рівнопотужна множині дійсних чисел  $\mathbb{R}$  в замкненому інтервалі  $[0, 1]$  називається *континуумом*. Очевидно, що континуум рівнопотужний множині всіх чисел на числовій прямій, тобто можна побудувати однозначне відображення з інтервалу  $[0, 1]$  на всю числову пряму. Тому незлічену множину можна називати континуальною. ◀

При вирішенні проблем, розв'язанні теоретичних задач і практичних завдань виникає вибір, пов'язаний з прийняттям рішень.

**Вибір** – дія, яка дозволяє організувати цілеспрямовану діяльність людини.

До характеристик вибору відносяться такі:

- 1) саме вибір реалізує підпорядкованість всієї діяльності певній меті або сукупності цілей;
- 2) вибір здійснюється за умови існування безлічі альтернатив.

Відзначимо, що в теорії оптимізації аналогом альтернативи служить *варіант* (від лат. *variantis* – зміна, видозміна, різновид, відмінність).

У загальному випадку **проблема вибору чи проблема прийняття рішення** є нетривіальна зважаючи на те, що кожний компонент ситуації вибору можна реалізувати в якісно різних варіантах. Множинність задач вибору характеризується рядом *етапів*, серед яких належить виділити такі [85; 129; 177; 206]:

- 1) породження (побудова) множини альтернатив (скінченної, зліченної, континуальної), з яких потрібно здійснювати вибір;
- 2) визначення мети чи цілей, заради досягнення якої (яких) роблять вибір;
- 3) реалізація однократного (разового) чи повторюваного режиму вибору (останній дає змогу навчатися на досвіді);
- 4) оцінювання альтернатив за допомогою одного чи декількох критеріїв, які, в свою чергу, можуть мати як якісний, так і кількісний характер;
- 5) наслідок вибору може бути точно відомий (**вибір в умовах визначеності**), мати ймовірнісний характер, коли відомі ймовірності можливих результатів після виконаного вибору (**вибір в умовах ризику**), або неоднозначний, коли не можна вводити ймовірності (**вибір в умовах нестохастичної невизначеності або нечіткий вибір**);
- 6) відповідальність за вибір може бути односторонньою (в окремому випадку – індивідуальною) чи багатосторонньою; відповідно розрізняють **індивідуальний і груповий вибір**;
- 7) ступінь узгодженості цілей у випадку багатостороннього вибору може варіюватися від повного збігу інтересів сторін (**кооперативний вибір**) до їх протилежності (**вибір у конфліктних ситуаціях**). Можливі також і проміжні

випадки, наприклад компромісний вибір, коаліційний, вибір в умовах конфлікту, що наростає тощо.

Як відзначають Ф.І. Перегудов, Ф.П. Тарасенко, задачі вибору є множинні, а саме [162, с. 205]:

- *множина альтернатив* може бути кінцевою, зліченною або континуальною;
- *оцінювання альтернативи* може здійснюватися за одним або за декількома критеріями, які в свою чергу можуть мати як якісний, так і кількісний характер;
- *режим вибору* може бути однократним (разовим) або повторювальним, який допускає навчання на досвіді;
- *наслідки вибору* можуть бути точно відомі (*вибір в умовах визначеності*), мати ймовірнісний характер, коли відомі ймовірності можливих виходів після виконаного вибору (*вибір в умовах ризику*), або мати неоднозначний вихід, який не допускає уведення ймовірностей (*вибір в умовах невизначеності*);
- *відповідальність за вибір* може бути одностороннім (в частинному випадку індивідуальним) або багатостороннім. Відповідно розрізняють індивідуальний і груповий вибір;
- *ступінь узгодженості цілей* при багатосторонньому виборі може варіюватися від повного спів падання інтересів сторін (*кооперативний вибір*) до їх протилежності (*вибір в конфліктній ситуації*).

Операційно-цільові дослідження вивчає **теорія дослідження операцій** – наукова дисципліна, яка виникла у першій половині ХХ ст. та займається розробкою і застосуванням кількісних методів зі знаходження оптимальних рішень на основі математичного моделювання у різних галузях людської діяльності. До понятійного апарату цієї теорії відносяться: мета, стратегія, альтернатива, цільова функція, критерій мети, операція, прийняття рішення, оптимальність, множина можливих рішень.

Починаючи з 50-х рр. ХХ ст. почали досліджувати проблеми прийняття рішень у відносно складних ситуаціях (системах), а тому методи прийняття рішень синтезувалися в окрему дисципліну – **теорію прийняття рішень**, яка описує методи вибору рішень із можливих альтернатив. Нині ця теорія, поряд з принципами теорії дослідження операцій, методами теорії управління та можливостями сучасних ЕОМ складають основу **системного аналізу**.

Розрізняють нормативну теорію (від. лат. *normatio* – упорядковуую), яка описує раціональний процес вибору (“нормативний” означає оцінювальний), а також дескриптивну теорію (від англ. *descriptive* – описовий, якісний), яка стосується практики прийняття рішення. Розглянемо декілька центральних понять вказаних теорій.

**ДВ→** Повернемося до питань теорії дослідження операцій. Розглянемо тривіальну задачу прийняття рішення студентом скласти на іспиті визначену навчальну дисципліну на відмінно. Критерієм успішного складання дисципліни в порядковій (бальній) шкалі є “5”.

Таким чином, ми розглядаємо тривіальний приклад (фр. *trivial* – занадто звичайний, не інтересний, неоригінальний), який характеризується одним критерієм  $K$ , тобто всім альтернативам  $A_i, i = \overline{1, g}$  приписані конкретні числові оцінки у відповідності зі значеннями вказаного критерію.

Проте задача прийняття рішення перестає бути тривіальною навіть при одному критерію. Це відноситься до випадку, коли кожній альтернативі  $A_i, i=\overline{1, g}$  відповідає не точна оцінка, а інтервал можливих оцінок або розподіл  $f(K/A_i)$  на значеннях вказаного критерію. Як приклад, у нерівномірній 100 бальній шкалі ЕКТС критерієм відмінної оцінки є сума балів за всі види навчальної діяльності при вивченні дисципліни під час семестру, яка попадає в замкнутий інтервал [90 - 100].

Очевидно, що також нетривіальною є задача при декількох критеріях. Наприклад, якість обробки на токарному верстаті деталі як мінімум характеризується двома основними показниками, які можуть бути взяті за критерії:

- 1) фізико-механічні властивості поверхневого шару;
- 2) рівень шорсткості поверхневого шару (чистота поверхні).

Розв'язок розглянутої вище задачі оптимізації полягає не тільки в пошуку більш адекватного критерію, але й використанні декількох критеріїв, які описують одну мету по-різному і доповнюють один одного. ◀

Як підкреслюють Ф.І. Перегудов і Ф.П. Тарасенко багатокритеріальність є способом підвищення адекватності опису мети, проте бажано мінімізувати число необхідних критеріїв: "...справа не тільки і не стільки в кількості критеріїв, скільки в тому, щоб вони достатньо повно "покривали" мету" [162, с. 323]. Остання вимога задовольняється, якщо критерії являються *незалежними*, не зв'язаними один з одним.

Розглянемо критерії, пов'язані з вибором *оптимальної альтернативи, тобто найкращого шляху, способу, методу чи засобу досягнення мети*. Створення, формування, "генерація" альтернатив, тобто ідей про можливі способи досягнення мети, є справжнім творчим процесом.

Уведемо *простір стратегій*, який зазвичай задається кінцевою множиною  $X$  альтернатив  $x_i (i=\overline{1, g})$ , тобто способів, варіантів або / і засобів досягнення мети.

*Простір стратегій* (*Space strategies,  $\mathfrak{R}$* ) виражається як декартів добуток складових множини альтернатив:

$$\mathfrak{R} = A_1 \times A_2 \times \dots \times A_g. \quad (3.4)$$

Мірою оцінювання альтернатив є *критерій* або *цільова функція*  $q(x)$  – це мірило, ознака, вимога, правило чи процедура, які необхідні і достатні для того, щоб на їх основі здійснювати оцінювання, визначення або класифікацію будь-чого (можливі випадки застосування декількох критеріїв). Цільова функція  $q(x)$  має ще інші назви, а саме: *функція якості, функція ефективності, функція виграшу або втрат*.

Очевидно, що для оцінювання альтернатив необхідно використовувати декілька критеріїв  $q_j, j=\overline{1, m}$ . Нехай  $x$  – деяка альтернатива з множини  $X$ . Вважаємо, що для всіх  $x \in X$  можна задати цільову функцію  $q(x)$ , яка має таку властивість: якщо альтернатива  $x_2$  переважає альтернативу  $x_1$ , тобто  $x_2 > x_1$ , то  $q(x_2) > q(x_1)$ , і навпаки.

Якщо вибір будь-якої альтернативи зумовлює однозначно відомі наслідки і заданий критерій  $q(x)$  виражає (оцінює) певним дійсним числом наслідки вибору, то найкраща за даних умов, або *оптимальна альтернатива*  $x^*$  – така, за якої критерій  $q(x)$  набуває свого максимального значення:

$$x^* = \arg \max q(x), \quad x \in X. \quad (3.5)$$

Проблемами вивчення оптимальних величин займається теорія оптимізації.

**ДВ**→Значний внесок у розвиток сучасної теорії оптимізації внесли А.Я. Дубовицький, Л. Заде, А.А. Мілютін, А.М. Лєтова, А.Таккер, А.А. Фельдбаум, В.А. Троїцький, В.Г. Болтянський, Г. Кун, Дж. Данциг, Л.В. Канторович, Дж. Лейтман, Л.С. Потрягін, М.М. Моїсєєв, Р. Беллман, Р. Гоморі та ін., чії праці не тільки розширили границі застосування кількісних методів прийняття рішень, але й сприяли створенню нових напрямів у науці. ◀

Очевидно, що задача відшукування  $x^*$  проста за постановкою, проте складна для розв'язання, оскільки можливість і метод її розв'язання залежать від характеру множини  $X$  (скінченна, зліченна чи континуальна), а також від характеру критерію  $[q(x) - \text{функція або функціонал, і яка це функція або який саме це функціонал}]$ .

Як відзначає автор одного з найкращих посібників з прийняття рішень О.С. Риков, задача прийняття рішень залежить від наявної інформації про множину альтернатив  $X$  і від принципу оптимальності (opt), який "...задає або відображає поняття кращих альтернатив, відповідає на запитання "що таке добре і що таке погано" і забезпечує порівняння альтернатив" [177, с. 26].

Задачі багатокритеріального вибору цілей діяльності та альтернатив досягнення бажаної мети є частинними випадками загальної задачі прийняття рішень, в якій вимагається сформулювати як вихідну множину альтернатив, так і принцип оптимальності.

За ступенем визначення інформації розрізняють такі **основні класи задач прийняття рішень** [4; 54; 128; 177]:

- ❖ **В умовах визначеності** (детермінованості): існує повна та достовірна інформація про проблемну ситуацію, цілі, обмеження та наслідки рішень, які приймаються.
- ❖ **В умовах ризику**: для кожної альтернативи (стратегії поведінки) відомі всі можливі наслідки (результати дій, діяльності) та ймовірності їх реалізації, тобто закон розподілу ймовірностей наслідків та числові характеристики (параметри розподілу) випадкової величини  $X$  (математичне сподівання, дисперсія, медіана тощо). Імовірності небажаного наслідку, або математичне сподівання міри збитку (шкоди), отриманого при реалізації певної стратегії – **міра ризику**. У свою чергу, **ризик** розуміється як *незапланований (небажаний) результат розглянутого виду діяльності або спосіб функціонування будь-якого об'єкта*.
- ❖ **В умовах стохастичної (статистичної) невизначеності**. Цей випадок прийняття рішень розпадається на два види:
  - 1) закон розподілу ймовірностей наслідків прийняття рішень невідомий, проте відомі числові характеристики (параметри розподілу) випадкової величини  $X$ ;
  - 2) закон розподілу ймовірностей наслідків прийняття рішень невідомий, а також невідомі числові характеристики випадкової величини  $X$ . До цього виду відносяться задачі прийняття рішень в **умовах конфлікту**, які розглядаються в теорії ігор. При цьому, невідомі об'єктивні ймовірності наслідків замінюються на суб'єктивні ймовірності, а суб'єкт керується ризиковою перевагою і певними критеріями вибору з усіх альтернатив

(мінімаксний критерій, критерій Вальда, критерій Севіджа, критерій Гурвіца та ін.).

- ❖ **В умовах нестохастичної невизначеності.** Цей випадок прийняття рішень має справу з нечіткою інформацією, нечіткими уявленнями, уподобаннями та судженнями людей і, взагалі, з нечіткістю людського мислення. Цей вид невизначеності формалізується за допомогою теорії нечітких множин. Ця теорія є математичною формалізацією нечіткої інформації. На відміну від класичної теорії множин, інструментарій теорії нечітких множин є достатньо гнучким для формалізації елементів невизначеності, які притаманні реальним об'єктам ПГ (*природна невизначеність*). Окрім природної невизначеності існує *поведінкова невизначеність*, яка реалізується при грі з людиною. У цьому випадку, як правило, свою поведінку супротивник (як фактор) організовує найгіршим для нас (найкращим для себе) способом. Це слід враховувати при виборі критерію прийняття рішення.

Теорія прийняття рішень раніше становила найважливіший розділ системного аналізу. Зараз ця теорія отримала значний розвиток як “вшир”, так і “вглиб” і придбала рамки самостійної наукової дисципліни. Це пов'язано з тим, що процесами прийняття рішень пронизано все людське життя.

Прийняття рішень – ключова ланка будь-якого управлінського діяльності, яка існує в сфері державного управління, бізнесу, в системі некомерційних і громадських організацій.

З іншого боку, прикладні питання теорії прийняття рішень актуальні при проектуванні сучасних і перспективних технічних систем, зокрема систем автоматичного проектування, систем автоматичного керування, інтелектуальних систем керування і т. ін.

Безсумнівно, що теорія прийняття рішень займає одне з центральних місць в теорії управління якістю.

Нижче нами здійснена спроба сформулювати у читачів початкове, пропедевтичне (від грец. *propaidéuō* – попередньо навчаю) і далеко не повне уявлення про теорію прийняття рішень.

---

### 3.3. Задачі прийняття рішень в умовах визначеності

---

Задача прийняття рішення в умовах визначеності. Граф детермінованих зв'язків альтернатив з результатами. Вибір як максимізація критерію. Вибір в умовах наявності декількох критеріїв. Поняття вагових коефіцієнтів. Багатокритеріальний вибір. Метод Парето. Множина Парето. Суть раціональних, або ефективних рішень за Парето. Формалізація однокритеріального вибору. Формалізація багатокритеріального вибору.

---

Вказаний клас задач підрозділяється на такі підкласи:

#### 1.1. Задача оптимізації, або задача упорядкування альтернатив.

Передбачається відомими множина альтернатив  $X$  і принцип оптимальності *opt*, який відображає порівняльну якість альтернатив та дозволяє вибрати кращу альтернативу  $x^*$  або підмножину кращих альтернатив  $X^* \subset X$ . У цьому випадку

потрібно знайти  $x^*$  або підмножину  $X^*$ , на яких цільова функція  $q(x)$  набуває екстремального значення, а саме максимуму або мінімуму в залежності від сенсу розв'язуваної задачі. На основі принципу оптимальності всі альтернативи ранжуються у порядку погіршення або поліпшення їх якості. Якщо цільова функція не задана в явному вигляді, тоді передбачається, що існує *особа, яка приймає рішення* (ОПР) або група людей, які мають уявлення про значення цільової функції  $q(x)$  в залежності від аргументу  $x$ , роль якого відіграють альтернативи, які входять у множину  $X$ .

**1.2. Задача вибору.** Передбачається відомим множина альтернатив  $X$ , а невідомим принцип оптимальності *opt*. Потрібно сформулювати принцип оптимальності.

**П**→ Нехай при розв'язанні задачі  $\langle X, opt \rangle$  альтернативи  $x \in X$  мають  $m$  властивостей (характеристик)  $z_i, i = \overline{1, m}$ . Нехай властивість  $z_i, i = \overline{1, m}$  виражається числом  $f_i(x)$ , тобто існує відображення  $f_i : X \rightarrow R^1$  або  $X \xrightarrow{f_i} R^1$ , де  $R^1$  – множина дійсних чисел  $(-\infty, +\infty)$ , яка ототожнюється з числовою прямою  $0X$ . Отримана властивість називається *критерієм*, а число  $f_i(x)$  – *оцінкою альтернативи  $x$*  за критерієм  $z_i = f_i(x)$ .

Розглянемо простір  $R^m, i = \overline{1, m}$ . Поставимо у відповідність критерію  $z_i$   $i$  – ту координатну вісь у просторі  $R^m$ , де, як відомо з математичного аналізу [79], має таке визначення (*definition*):

$$R^m \underline{\text{def}} \underbrace{R \times R \dots \times R}_m = \{ x = (x_1, x_2, \dots, x_m) : x_j \in R, j = \overline{1, m} \} \quad (3.6)$$

Для цього відобразимо множину  $X$  в простір  $R^m$ , при цьому зіставивши кожній альтернативі  $x \in X$  точку  $z = (z_1, z_2, \dots, z_m) = [f_1(x), f_2(x), \dots, f_m(x)] \in R^m$ , де  $z_i = f_i(x)$  оцінка альтернативи  $x$  за критерієм  $z_i, i = \overline{1, m}$ .

Гомоморфне відображення множини  $X$  в критеріальний простір  $Z = R^m$ , (де  $R^m$  – повний метричний простір), породжує у цьому просторі підмножину  $Z_X$ , яка є *образом* множини  $X$ :

$$X : X \xrightarrow{[f_1(x), f_2(x), \dots, f_m(x)]} Z_X \subset Z = R^m. \quad (3.7)$$

Якщо множина  $X$  є дискретна, то множина рішень  $Z_X$  (образів множини  $X$ ) також дискретна. Якщо ж множина  $X$  є компактною, то множина рішень  $Z_X$  може бути неперервною множиною (*компактна множина* – множина, кожна нескінченна послідовність елементів (точок) якої має хоча б одну граничну точку). На рис. 3.2 зображено гомоморфне відображення множини  $X$  в критеріальний простір  $Z = R^2$  – простір, який ототожнюється зі площиною:

$$X : X \xrightarrow{[f_1(x), f_2(x)]} Z_X \subset Z = R^2. \quad \blacktriangleleft \quad (3.8)$$

Коротко розглянемо декілька різновидів вибору в умовах визначеності.

**1А. Вибір як максимізація критерію.** Якщо вибір здійснюється в умовах визначеності, то вибір будь-якої альтернативи спричиняє до однозначно відомих наслідків.

**Критерій (цільова функція)**  $q(x)$  чисельно виражає оцінку цих наслідків. Як показано нами раніше, найкращою альтернативою  $x^*$  є та, яка має найбільше або найменше значення критерію  $x^* = \arg \max_{x \in X} q(x)$  або  $x^* = \arg \min_{x \in X} q(x)$ .

Розв'язок цієї задачі, пов'язаної з вибором **оптимальної альтернативи**, яка проста за постановкою, часто виявляється складною для розв'язання внаслідок того, що множина  $X$  може бути не тільки кінцевою, але й зліченою, а також континуальною. Окрім цього, характер критерію може бути не тільки невідомою функцією, але й невідомим функціоналом.

**1Б. Вибір в умовах наявності декількох критеріїв.** Вибір варіанта за одним критерієм та оцінювання будь-якого варіанта одним числом є неприйнятним і грубим спрощенням. Реальні теоретичні задачі та практичні завдання вимагають оцінювати альтернативи за декількома критеріями, які якісно відрізняються між собою. Наприклад, вибір автомобіля покупцем є багатокритеріальна задача тому, що потрібно одночасно враховувати потужність двигуна, розміри автомобіля, оздоблювальні матеріали, форму автомобіля, ергономіку (рівень комфорту для пасажирів), безпечність автомобіля, екологічні параметри, ціну тощо.

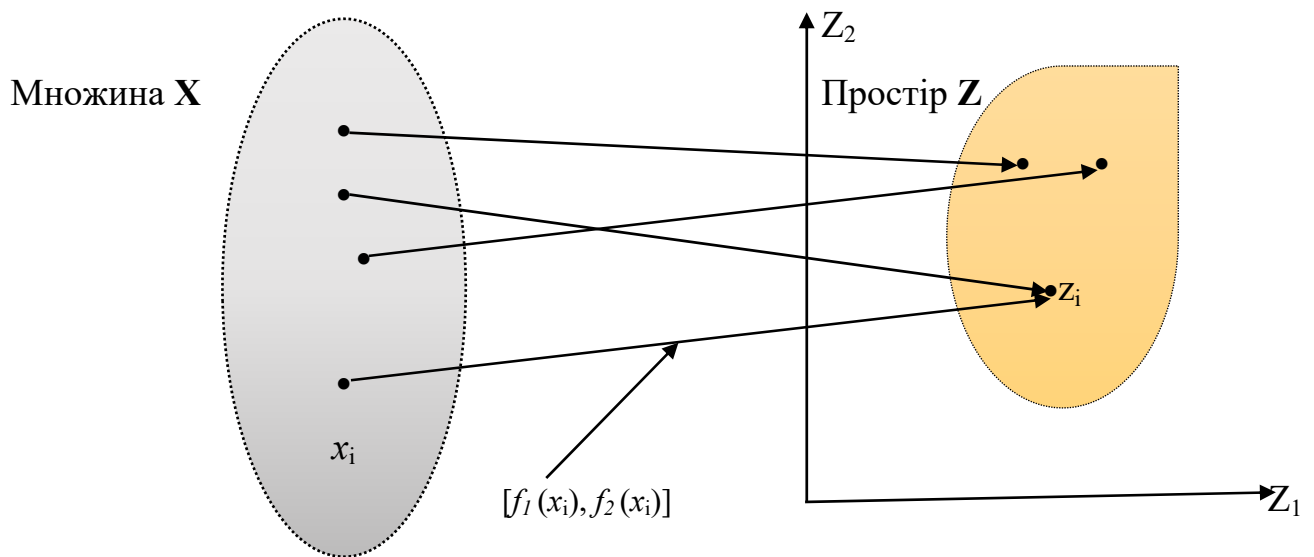


Рис. 3.2. Граф детермінованих зв'язків альтернатив  $X$  з результатами  $Z$ , або гомоморфне відображення множини  $X$  (дискретної або компактної) в критеріальний простір  $Z$ , де образом точки  $x_i$  множини  $X$  є точка  $z_i$  в просторі  $Z$  з координатами  $[f_1(x_i), f_2(x_i)]$

Нехай для оцінювання альтернатив використовуються декілька критеріїв  $q_i(x)$ ,  $i = \overline{1, m}$ . Привабливо було б знайти такі значення змінних  $x$  в допустимій області  $X$ , щоб всі критерії одночасно були оптимальні. На жаль, цього досягнути неможливо. Це пов'язано з тим, що, як правило, критерії суперечливі.

Прикладів можна навести безліч. Зокрема, **виріб** не може бути одночасно самої високої якості і самим дешевим. За якість приходиться "платити" дорогими

матеріалами (зокрема, кольоровими металами), ручним збиранням блоків з деталей, використанням унікальної технології тощо.

Багатокритеріальні задачі можна розв'язати декількома способами. Один із способів полягає в тому, що багатокритеріальну задачу зводять до однокритеріальної. При цьому вводять скалярну функцію векторного аргументу, яка має назву *суперкритерій*  $q_0(x)$ :

$$q_0(x) = q_0(q_1(x), q_2(x), \dots, q_p(x)). \quad (3.9)$$

Суперкритерії дозволяють упорядкувати альтернативи за величиною, виділивши таким чином найкращу альтернативу. Вид функції  $q_0(x)$  визначається тим, як ми уявляємо собі вклад кожного критерію в суперкритерій. При цьому використовують адитивні або мультиплікативні функції:

$$q_0 = \sum_{i=1}^m \frac{\alpha_i q_i}{s_i} \quad \text{і} \quad 1 - q_0 = \prod_{i=1}^m \left(1 - \frac{\beta_i q_i}{s_i}\right), \quad (3.10)$$

де  $\alpha_i, \beta_i$  – вагові коефіцієнти, коефіцієнти  $s_i$  забезпечують безрозмірність числа  $q_i / s_i$  та виконання умови:

$$\beta_i \cdot q_i / s_i \leq 1, \quad i = \overline{1, m} \quad (3.11)$$

Таким чином, при даному способі задача зводиться до максимізації суперкритерію:

$$x^* = \arg \max_{x \in X} q_0 [q_1(x), q_2(x), \dots, q_m(x)]. \quad (3.12)$$

Зазначимо, що об'єднання (згортання)  $m$  критеріїв оптимальності в один узагальнений критерій можна здійснювати методом зважених сум:

$$x^* = \sum_{i=1}^m \lambda_i \cdot q_i(x), \quad (3.13)$$

де параметри  $\lambda_i$  звично називають *ваговими коефіцієнтами* (вагами критеріїв, ступенями корисності).

**1В. Метод Парето.** У 1904 р. італійський інженер, економіст і соціолог В. Парето (1848-1923) запропонував повністю формалізований спосіб багатокритеріального вибору, який полягає у відмові від виділення єдиної “найкращої” альтернативи. Разом з тим, треба виконувати погодження про те, що перевагу однієї альтернативи перед іншою потрібно віддавати тільки за умови, якщо перша за всіма критеріями краще другої. Якщо ж перевага хоча б за одним критерієм має розбіжність з перевагою за другим критерієм, то такі критерії визнаються не порівняльними. У результаті попарного порівняння альтернатив всі гірші за всіма критеріями альтернативи відкидаються, а всі альтернативи, які залишилися та не порівняльні між собою (не домінуючі) приймаються. Отримані альтернативи утворюють *множину Парето*.



П→ Формалізуємо вищевикладене. Припускаємо, що ми зробили деякий вибір  $x^\circ$ . Потім здійсимо другий вибір  $x^\bullet$  і такий, що для всіх критеріїв  $q_i(x)$ ,  $i = \overline{1, m}$  має місце нерівність

$$q_i(x^\bullet) \geq q_i(x^\circ), \quad (3.14)$$

причому хоча б одна з цих нерівностей є строгою (>).

Очевидно, що вибір  $x^\bullet$  має перевагу над вибором  $x^\circ$ . Тому всі вектори  $x^\circ$ , які задовольняють (3.14), потрібно зразу виключити із розгляду.

Далі потрібно піддавати неформальному аналізу тільки ті вектори  $x^\circ$ , для яких не існує такого  $x^\bullet$ , що для всіх критеріїв задовольняються нерівність (3.14).

Множину всіх таких значень  $x^\circ$ , називають **множиною Парето**, а вектор  $x^\circ$  називають **неполіпшуваним вектором результатів**, або **вектором Парето**, якщо із нестрогої нерівності, а саме такої  $q_i(x^\bullet) \geq q_i(x^\circ)$ , для будь-якого  $i$  випливає рівність  $q_i(x^\bullet) = q_i(x^\circ)$ .

Розглянемо інше пояснення сутності множини Парето [78]. Маємо багатокритеріальну задачу оптимізації і векторну цільову функцію, яка складається з  $m$  компонентів:

$$q(x) = [q_1(x), q_2(x), \dots, q_m(x)]. \quad (3.15)$$

Розв'язок даної задачі оптимізації пов'язаний з пошуком деякого компромісу між критеріями, які, як правило, є суперечливі. Цей компроміс ("щоб і вовки були ситі, і вівці ціленькі") можна досягнути, якщо здійснити відбір раціональних рішень, які звужують множину альтернатив. Розв'язок  $x^* \in D$  багатокритеріальної задачі оптимальний в сенсі Парето, якщо не існує ні однієї точки  $x \in D$  такої, щоб

$$q_i(x) \leq q_i(x^*), \quad i = \overline{1, m} \quad (3.16)$$

і якщо хоча б для одного (наприклад,  $j$ -го) критерію ця нерівність повинна бути строгою:

$$q_j(x) < q_j(x^*). \quad (3.17)$$

Якщо така точка  $x$  існує, то вона повинна стати **оптимальною**, тому що вона ні за одним критерієм не поступається, а за деякими навіть краще, ніж  $x^*$ .

Наприклад, для двох критеріїв оптимізації  $q_1$  і  $q_2$ , які відповідають змінним  $x$  в допустимій області, точками Парето є множина  $M$  контурних точок між двома точками  $A$  і  $B$  (точки є результатом перетину дотичних і нормалей) допустимої області  $D$ , яка зображена як плоска фігура (рис. 3.3).

Візьмемо точку всередині області. Тоді, наприклад, будь-яка точка лівіше буде краще за критерієм  $q_1$  при тому же критерії  $q_2$ . Значить, цю точку ми змогли покращити і вона вже не може називатися оптимальною. Якщо взяти точку на контурі  $AB$ , то, як би ми її не рухали, який-небудь із критеріїв при цьому буде збільшуватися. Очевидно, чим більше точок Парето, тим гірше, так як з формальних позицій вони рівноцінні між собою. ◀

Очевидно, принцип Парето не виділяє єдиного розв'язку, а тільки звужує множину альтернатив. Остаточний вибір залишається за ОПР. Тобто вказаний принцип не виділяє одне оптимальне (найкраще) рішення, а виділяє **раціональні чи ефективні рішення**, які часто називають **оптимальними за Парето**.

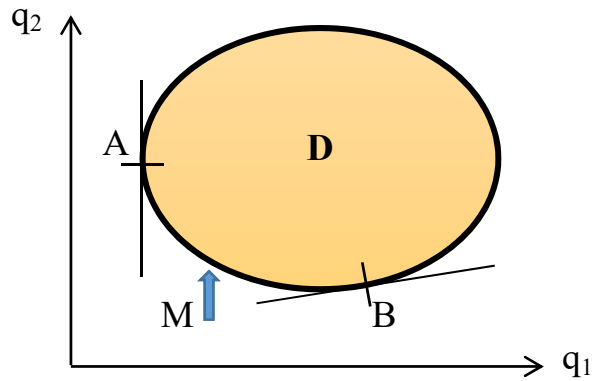


Рис. 3.3. Точки Парето у випадку двох критеріїв

Таким чином, при прийнятті рішення за детермінованих умов оптимальність не потребує виділення однієї найкращої альтернативи (тобто кращої за всіма критеріями).

Якщо реалізується колективний вибір, то варіанти, які належать множині Парето (ефективні рішення) мають таку властивість, що “...покращити значення цільової функції  $q_i(x), i = \overline{1, m}$  будь-якого суб’єкта можна тільки за рахунок інших суб’єктів” [140, с. 50]. Отже, **принцип Парето є аналогом закону збереження енергії в фізиці**.

Принцип Парето має велике значення в теорії проектування технічних систем оскільки займає чи не центральне місце у формуванні процедур вибору альтернатив. Як показано вище, побудова множини Парето дозволяє методом аналізу відбракувати не конкурентно спроможні варіанти, а потім стиснути множину альтернатив, яка залишилася.

### 1Г.Формалізація однокритеріального та багатокритеріального вибору.

**П→ а) Однокритеріальний вибір.** Задано:  $X$  – множина альтернатив;  $Y$  – множина можливих наслідків (результатів);  $f$  – цільова функція, яку потрібно максимізувати;  $\mathfrak{R}$  – довільне бінарне відношення на множині  $Y$ . Тоді існує однозначне відображення:

$$X \xrightarrow{\varphi} Y, \quad (3.18)$$

де  $\varphi$  – символ функції, яка реалізується:  $y = \varphi(x), x \in X, y \in Y$ .

Нехай маємо цільову функцію  $f$ , яку потрібно максимізувати:

$$f: Y \rightarrow \mathfrak{R}. \quad (3.19)$$

Тоді за допомогою цільової функції  $f$  на множині  $Y$  індукуються (наводяться) два бінарних відношення:

$$(y_1, y_2) \in \mathfrak{R}_1 \leftrightarrow f(y_1) \geq f(y_2); \quad (y_1, y_2) \in \mathfrak{R}_2 \leftrightarrow f(y_1) > f(y_2); \quad (3.20)$$

Квазіпорядок на  $Y$  визначає відношення  $\mathfrak{R}_1$ , яке є **рефлексивним** і **транзитивним**. Строгий порядок на  $Y$  визначає відношення  $\mathfrak{R}_2$ , яке є **транзитивним** і **антирефлексивним**.

(проте, очевидно,  $\forall y$  невірно, що  $f(y) > f(y)$ ). В обох випадках справедлива рівність, яка визначає **ядро бінарного відношення**  $\mathfrak{R}$  в  $Y$ :

$$\text{Max}_{R_i} Y = \text{Arg max } f(y), \quad (i = 1, 2.) \quad (3.21)$$

Таким чином, задача максимізації цільової функції  $f$  на множині  $Y$  еквівалентна задачі побудови ядра одного із бінарних відношень  $\mathfrak{R}_1, \mathfrak{R}_2$ , яке співпадає з множиною максимізаторів  $f$  на множині  $Y$ .

**б) Багатокритеріальний вибір.** Нехай якість результату оцінюються не одним числом, а декількома. Це означає, що існує декілька показників якості рішення, що описується частинними цільовими функціями, які потрібно максимізувати:

$$f_k : Y \rightarrow \mathfrak{R}, \quad k = \overline{1, m}, \quad (3.22)$$

Відношення домінування, або відношення Парето, є таке:

$$(y_i, y_j) \in \mathfrak{R}_p \leftrightarrow \forall k : [f_k(y_i) \geq f_k(y_j)] \wedge [f(y_i) \neq f(y_j)]. \quad (3.23)$$

Бінарне відношення  $\mathfrak{R}_p$  є антирефлексивне і транзитивне, що формалізується так:

$$\forall y \in Y : (y, y) \notin \mathfrak{R}_p; \quad \text{і } [(y_1, y_2) \in \mathfrak{R}_p] \wedge [(y_2, y_3) \in \mathfrak{R}_p] \rightarrow (y_1, y_3) \in \mathfrak{R}_p. \quad (3.24)$$

Множина, яка включає в собі всі ефективні елементи множини  $Y$ , називається **множиною Парето** [позначається  $P_f(Y)$  або просто  $P(Y)$ , де  $P(Y) \subseteq Y$ ] для векторного відношення:

$$f : Y \rightarrow R^m, \quad f = (f_1, f_2, \dots, f_m), \quad (3.25)$$

де  $R^m$  – простір критеріїв.

Образ множини Парето  $P(Y)$  в просторі критеріїв  $R^m$  позначається як  $P(f) = f[P(Y)]$  – **множина ефективних оцінок, або множина Парето** в просторі критеріїв.

Сенс ефективного рішення полягає в тому, що оптимальний результат належить шукати тільки серед елементів множини недомінуючих елементів  $P(Y)$  – **принцип Парето**. У супротивному випадку завжди знайдеться така точка  $y \in Y$ , яка є більш бажана з врахуванням всіх частинних цільових функцій  $f_i(y), i = \overline{1, m}$  ◀

Таким чином, прийняття рішень в умовах визначеності (детермінованості) припускає така схема: *кожній альтернативі відповідає певний результат. Корисність кожного результату оцінюється деяким дійсним числом.*

Математичною моделлю задачі прийняття рішень в умовах визначеності є **цільова функція**  $f_k$ , яка визначена на множині альтернатив.

Зазвичай визначається екстремальне значення цільової функції: **знаходження оптимального рішення для задачі прийняття рішення в умовах визначеності. рівносильно знаходженню екстремуму цієї функції.**

Під час прийняття управлінських рішень в умовах визначеності, ОПР знає напевно вихід чи наслідок (результат) будь-якого обраного рішення. Стан рішення

залежить від наявності альтернатив. У даному випадку, під терміном “альтернатива” розуміється напрямок дії чи стратегія, що може бути обрана ОПР.

Наскільки правильно здійснено вибір оптимальної альтернативи та числа, з ним пов'язаного, залежить від рівня освіченості ОПР, його досвіду та професіоналізму, ядром якого є фахова компетентність. Успіх розв'язання задачі в умовах визначеності залежить від достовірності та достатності якісної та кількісної інформації про стан, поведінку (функціонування) та розвиток об'єкта ПГ, який досліджується. У цьому випадку з успіхом можуть застосовуватися *методи математичного програмування*, суть яких полягає в знаходженні оптимальних рішень на основі адекватної математичної моделі реального об'єкта ПГ та цільової функції (критерію оптимізації), яка має кількісні оцінки (певні числові значення).

---

### 3.4. Задачі прийняття рішення в умовах ризику та стохастичної (статистичної) невизначеності

---

Стохастична (випадкова) невизначеність. Стохастичні фактори. Означення ризику. Наслідок, випадкові події та випадкові величини. Стохастична природа факторів і нормальний закон щільності розподілу ймовірностей. Граф стохастичних зв'язків альтернатив з результатами. Суть прийняття рішень в умовах ризику. Правила і критерії вибору альтернативної стратегії (рішення) в умовах стохастичності. Необхідність використання методів багатокритеріального оцінювання альтернатив. Види переваг на просторі економічних благ. Основні властивості відношень переваг. Функція корисності. Ординалістський і кардиналістський підходи до моделювання поведінки і вибору. Формалізація ординалістського підходу. Теорема Дебре. Характеристика та умови існування функції корисності. Простір благ і послуг. Простір альтернатив. Неокласична система переваг. Загальна корисність. Споживча властивість товару і “ютилі”. Принцип стійкості Неша. Суб'єктивна оцінка корисності. Загальна і гранична корисність. Закони Госсена. Теорія ігор. Лотерея. Очікувана корисність Неймана-Моргенштерна. Функціонал ризику. Типи функцій корисності Неймана-Моргенштерна. Теорія суб'єктивної корисності Л. Севіджа. Парадокси Алле і Еллсберга.

---

Розглянемо коротко розв'язання задач прийняття рішень в умовах стохастичної невизначеності. Поряд з розглянутими вище задачами в умовах визначеності, розв'язання задач в умовах невизначеності широко застосовується в кваліметрії якості продукції.

Якщо в умовах визначеності модель прийняття рішення чітко визначала результат вибору будь-якої альтернативи (кожна альтернатива пов'язана тільки з одним наслідком), то *в умовах невизначеності потрібно розглядати всі можливі результати кожної альтернативи або хоча б найбільш імовірні з них*. Звідси виникають умови невизначеності, які пов'язані з такими характеристиками, як *випадковість, непередбаченість, неоднозначність*.

Зокрема, **випадковість** – вид невизначеності, який підлягає строгій закономірності, вираженій розподілом ймовірностей, що є кваліметричною оцінкою певного фактора. Випадковість є протилежністю детермінованості (для порівняння є така дихотомія: хаотичність – упорядкованість).

На відміну від прийняття рішень за детермінованих умов, **прийняття рішень за умов невизначеності** полягає у виборі оптимальної стратегії, успіх реалізації якої залежить також від деяких невизначених факторів. До вказаних факторів

відносяться **стохастичні фактори** – фактори, які мають випадкову (стохастичну) природу.

Розрізняють невизначеності стохастичної (випадкової) та нестохастичної природи.

**Стохастична (випадкова) невизначеність** – такий стан рівня інформованості ОПР, при якому для кожної розглядуваної альтернативи відомі всі можливі наслідки та ймовірності їх реалізації, тобто закон розподілу ймовірностей наслідків. Зв'язок між альтернативами  $x_i \in X$  та їх результатами  $y_j \in Y$  є стохастичний.

Невизначеності стохастичного типу зумовлені об'єктивною дійсністю, яку називають **природою**. Природа розглядається як незацікавлена сторона. Очевидно, прийняття рішення в умовах стохастичної невизначеності означає, що виникнення того чи іншого вибраного наслідку є **подією випадковою**. Кожну випадкову подію можна розглядати як окремий випадок випадкової величини  $X$ . Випадкові величини залежать від різноманітних стохастичних факторів.

Невизначеність виступає необхідною і достатньою умовою ризику в прийнятті рішень.

**Ризик** (від. грец. *rysicon* – скеля) – можливість несприятливого результату в умовах невизначеності на відміну від поняття “шанс”, яке зв'язується з можливістю виграшу або придбань. Звідси **ризикувати** – це значить відповідно метафори “підійматися на скелю або лавірувати між скелями”.

Із загальних означень поняття “**ризик**” (“*risk*”) нами виділено такі [105; 106]:

- “**ризик**” – вплив невизначеності на кінцеві цілі;
- “**ризик**” – характеристика ситуації, що має невизначеність результату, при обов'язковій наявності несприятливих наслідків;
- “**ризик**” – ступінь імовірності певної негативної події, яка може відбутися в певний час або за певних обставин;
- “**ризик**” – характеристика ситуації, що має невизначеність результату, при обов'язковій наявності несприятливих наслідків.

Останнє означення стверджує, що ризик поєднує ймовірність настання несприятливої події та можливий розмір наслідку (втрат) від неї. У зв'язку з цим, М.З. Згуровський і Н.Д. Панкратова виділяють такі терміни [83]:

- ❖ **Ступінь ризику  $\chi$**  – імовірність появи події, що призводить до небажаних наслідків, або ймовірність появи несприятливої ситуації, або ймовірність появи небажаних наслідків впливу будь-яких факторів ризику в будь-який момент часу  $t \in T$  в процесі функціонування складної системи на проміжку часу  $T$ .
- ❖ **Рівень ризику  $W$**  – розмір потенційного (можливого) збитку (шкоди) від небажаних наслідків впливу будь-яких факторів ризику в будь-який момент часу  $t \in T$  в процесі функціонування складної системи (маються на увазі наслідки позаштатної ситуації).

Звідси, ми ризик **R** подаємо як функціональну залежність такого виду:

$$\mathbf{R} = f(\chi, W) \quad . \quad (3.26)$$

Стохастичні фактори поділяються на фактори як з відомою диференціальною функцією розподілу, або щільністю розподілу ймовірностей  $f(x)$ , так із невідомою. Стохастичні фактори з невідомим розподілом можуть містити невідомі параметри розподілу. Шляхом параметричного оцінювання можна отримати відомі параметри розподілу.

**Наслідок**, як результат випадкової події (явища, процесу), не є детермінований (передбачуваний), а є недетермінований (статистичний) та суттєво впливає на результат діяльності.

За цими обставинами, при наявності достовірних ( $p=1$ ) і неможливих подій ( $p=0$ ), які визначаються ймовірністю  $p$ , домінують **випадкові події**, які за виконання певної сукупності умов, можуть відбуватися або не відбуватися ( $0 < p < 1$ ).

**ДВ** → Якщо фактори мають стохастичну природу то вони можуть оцінюватися показниками в метричних шкалах (в інтервальній шкалі та шкалі відношень). Повною характеристикою стохастичних факторів є закон розподілу випадкової величини. Як правило, це **нормальний закон**, який інтерпретується кривою Гаусса [в честь одного з найвидатніших математиків всіх часів, “короля” математиків XIX ст. Іоганна Карла Фрідріха Га́усса (1777-1855)]:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\cdot\sigma^2}}, \tag{3.27}$$

де:  $y = f(x)$  – щільність (густина) розподілу ймовірностей неперервної випадкової величини  $X$ ;  
 $f(x) = \frac{dF(x)}{dx}$ , де  $F(x) = P(X < x)$  – інтегральна функція розподілу, або інтегральний закон розподілу [функція  $F(x)$  є ймовірність ( $P$ ) того, що випадкова величина  $X$  набуває значення, менші ніж  $x$ , тобто ( $\forall x \in \mathbb{R}$ )];

параметр  $\mu$  – математичне сподівання, або середнє значення випадкової величини  $X$ ;  
 параметр  $\sigma$  – середнє квадратичне відхилення випадкової величини  $X$ , яке характеризує ступінь розсіяння значень  $X$  навколо її математичного сподівання  $\mu$ .

Стохастичний зв'язок альтернатив  $x_i \in X$  з результатами  $y_j \in Y$  поданий на рис. 3.4.

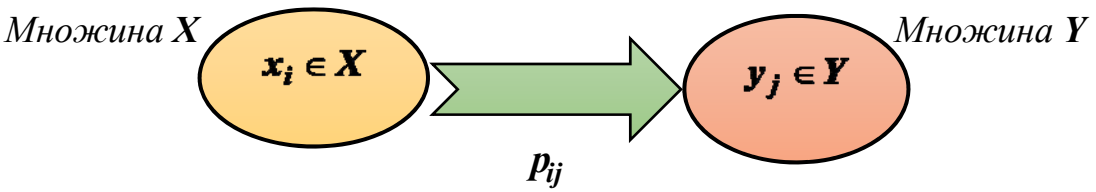


Рис. 3.4. Узагальнений граф стохастичних зв'язків альтернатив  $x_i \in X$  з результатами  $y_j \in Y$

Граф зв'язку альтернатив з результатами відноситься до типу “зваженого”: кожна дуга характеризується “вагою”, тобто числом  $p_{ij}$  – ймовірністю настання результату при виборі альтернативи  $x_i$ . Очевидно, що:

$$\forall i : \sum_j p_{i,j} = 1 \quad \blacktriangleleft \tag{3.28}$$

Після прийняття рішення (вибору стратегії поведінки) особа, яка приймає рішення (ОПР) з тією чи іншою ймовірністю повинна чекати, що відбудеться не та подія, на яку особа розраховувала. Вказаний тип задачі в теорії прийняття рішень називається “**прийняттям рішень в умовах ризику**”.

При прийнятті рішень за умов ризику найчастіше використовують методи зведення стохастичних задач прийняття рішень до детермінованих. Наприклад, метод штучного зведення до детермінованої схеми і метод оптимізації в середньому.

Сутність **методу штучного зведення до детермінованої схеми** полягає в тому, що всі випадкові фактори  $X_i, i = \overline{1, n}$  наближено заміняють деякими не випадковими характеристиками, як правило, їх математичними сподіваннями  $\mu_i = M(X_i), i = \overline{1, n}$ . У результаті стохастична задача прийняття рішень замінюється детермінованою.

Сутність **методу оптимізації в середньому** полягає в переході від випадкового показника ефективності до деякої статистичної характеристики. Для вибору альтернативної стратегії (рішення) в умовах стохастичності використовують різні правила і критерії, зокрема:

- 1) **правило максімін (критерій Вальда)** – ОПР мінімально готова до ризику, припускаючи максимум негативного розвитку стану зовнішнього середовища і з огляду на найменш сприятливий розвиток для кожної альтернативи;
- 2) **правило максімакс** – ОПР визначає максимальні значення для кожного статистичного рядка і вибирає найбільше з них;
- 3) **правило мінімакс (критерій Севіджа)** – ОПР допускає розумний ризик задля одержання додаткового прибутку. У ситуації невизначеності цим критерієм можна користуватися при впевненості, що випадковий збиток не призведе фірму до повного краху;
- 4) **правило Гурвиця** – правила максімакс і максімін об’єднуються зв’язуванням максимуму мінімальних значень альтернатив. Це правило ще називають “правилом оптимізму – песимізму”.

**ДВ→** Одним з перших методів порівняння альтернатив був метод “вартість – ефективність”, застосований в 50-60 рр. в США для аналізу військово-технічних рішень. Згідно цього методу належало визначати вартість і ефективність різних варіантів військово-технічних проектів і потім вибирати найкращий. При цьому застосовувалися критерії максимальної ефективності при фіксованій вартості, або критерії мінімальної вартості при фіксованій ефективності, або критерії максимізації відношення ефективності до вартості. Вказаний метод доказав свою результативність для достатньо сильно структурованих проблем, які відносяться до проектів військової техніки. Проте застосування даного методу для оцінювання стратегічних альтернатив наштовхнувся на нереальні результати. На відміну від моделей технічних систем, які мають “об’єктивний” характер, стратегічні військові альтернативи визначалися за допомогою переважно експертних оцінок, тобто мали, як правило, “суб’єктивний” характер, часом далекий від прогнозної реальності.

Таким чином, однокритеріальний метод “вартість – ефективність”, тобто метод дослідження операцій, не може бути розповсюджений на вирішення слабо-структурованих проблем. Для вказаних проблем адекватні методи багатокритеріального оцінювання альтернатив. Аналіз вказаних методів не уможлиблюється без розгляду функції корисності, яка відкриває можливість використання теорії оптимізації при розв’язанні задач вибору альтернатив. ◀

Насамперед відзначимо, що існують три *види переваг* на просторі економічних благ  $X$ : строге, нестроге (слабке) і байдуже.

1. **Відношення строгої переваги**  $x \succ y$  визначається як бінарне відношення строгого порядку на просторі економічних благ. Цей запис означає, що набір  $x$  для споживача краще набору  $y$ , прочитується як “ $x$  строго переважає над  $y$ ”, “ $x$  краще  $y$ ”.
2. **Відношення слабкої (нестрогой) переваги**  $x \succcurlyeq y$ . Цей запис означає, що споживач віддає перевагу набору  $x$  порівняно з набором  $y$  або ці набори є рівноцінні для споживача. Прочитується так “ $x$  має перевагу над  $y$ ” або “ $x$  слабо переважає над  $y$ ”, “ $x$  не гірше  $y$ ”.
3. **Відношення байдужості**  $x \sim y$  (запис  $x \sim y$  означає, що ці набори є рівноцінні для споживача, читається як “ $x$  рівноцінно  $y$ ”, “ $x$  знаходиться у відношенні байдужості до  $y$ ” на просторі економічних та інших благ).

На множині дійсних чисел  $\mathbb{R}$  розрізняють відношення строгої переваги  $x \succ y$  (“ $x$  строго більше  $y$ ”),  $z \prec s$  (“ $z$  строго менше  $s$ ”), які звично в математиці позначаються також відповідними знаками та виразами  $x > y$ ,  $z < s$ . У свою чергу, в математиці відношення слабкої (нестрогой) переваги  $x \succcurlyeq y$  (“ $x$  більше чи рівне  $y$ ”, або “ $x$  не менше  $y$ ”),  $z \preccurlyeq s$  (“ $z$  менше чи рівне  $s$ ”, або “елемент  $z$  не більше елемента  $s$ ”). Вказане позначається також такими відповідними виразами та знаками  $x \geq y$ ,  $z \leq s$ . Відміна математичних знаків ( $>$ ,  $<$ ,  $\geq$ ,  $\leq$ ) від знаків, які застосовуються в теорії прийняття рішень ( $\succ$ ,  $\prec$ ,  $\succcurlyeq$ ,  $\preccurlyeq$ ) в тому, що перші мають об’єктивний характер, а другі описують відношення, які приймаються індивідом (окремою особою), тобто суб’єктивно.

#### **П→ 1. Властивості бінарних відношень строгої переваги**

Розглянемо довільну підмножину  $R$  декартового квадрату множини  $M$ , тобто  $R \subseteq M^2$ . Ця підмножина  $R$  називається відношенням між елементами цієї множини або відношенням на цій множині  $M$ . Роль цієї множини може відігравати множина дійсних чисел  $\mathbb{R}$ .

Найчастіше зустрічаються **бінарні, або двомісні відношення**. Для двох (пари) елементів  $(a, b) \in M^2$ , які знаходяться у відношенні  $R$ , має місце запис:  $a R b$ .

Коротко розглянемо властивості бінарних відношень та покажемо властивості його графа (подробіці див. [95; 156; 182; 192]).

1. Відношення  $R$  називається **рефлексивним**, якщо для будь-якого  $a \in M$  має місце  $a R a$ , тобто для  $\forall a \in M \Rightarrow a R a$ . Головна діагональ матриці такого відношення містить тільки одиниці. На графі рефлексивного відношення у кожній вершині є петля. Прикладами рефлексивних відношень є відношення подібності, відношення паралельності ( $\parallel$ ), рівність, відношення нестрогого порядку ( $\geq$ ), ( $\leq$ ), самообслуговування і т. ін.).
2. Відношення  $R$  називається **антирефлексивним**, якщо ні для якого  $a \in M$  не виконується  $a R a$ , тобто  $\bar{\exists} a \in M : a R a$ . Головна діагональ матриці такого відношення містить тільки нулі. Прикладами антирефлексивних відношень є відношення строгого порядку ( $>$ ), ( $<$ ), відношення перпендикулярності ( $\perp$ ), відношення “бути старше” та ін.
3. Відношення  $R$  називається **симетричним**, якщо для пари  $(a, b) \in M^2$  із  $a R b$  випливає  $b R a$ . Прикладами симетричних відношень є відношення рівності ( $=$ ) на множині дійсних чисел  $\mathbb{R}$ , подібності ( $\sim$ ), перпендикулярності ( $\perp$ ), паралельності ( $\parallel$ ), відстань між двома точками, “бути братом”, відношення “вчитися в одній групі” на множині студентів даного університету та ін. Матриця симетричного відношення симетрична відносно головної



діагоналі, тобто  $c_{ij} = c_{ji}$  для будь-яких  $i$  та  $j$ . Твердження. Відношення  $R$  симетрично тоді і тільки тоді, коли  $R = R^{-1}$ .

Зауважимо, що відношення  $R^{-1}$  є відношенням, яке є зворотним по відношенню до відношення  $R$ . Це означає, що якщо  $a_i R^{-1} a_j$ , то це буде тоді і тільки тоді, коли  $a_j R^{-1} a_i$ .

4. Відношення  $R$  називається **асиметричним**, якщо для пари  $(a, b) \in M^2$  із  $a R b$  випливає, що не виконується  $b R a$ . Асиметричними є відношення порядку  $(>)$ ,  $(<)$ . Якщо відношення асиметрично, то воно і антирефлексивно. Прикладами асиметричних відношень є строге включення, “бути батьком” і т. ін.
5. Відношення  $R$  називається **антисиметричним**, якщо із  $a_i R a_j$  і  $a_j R a_i$  випливає, що  $a_i = a_j$ . Прикладами антисиметричних відношень є відношення нестрогої нерівності  $(\leq)$  на множині дійсних чисел  $\mathbb{R}$ , включення.
6. Відношення  $R$  називається **транзитивним**, якщо для будь-яких числових значень  $a, b, c$  із відношень  $a R b$  і  $b R c$  випливає  $a R c$ . Прикладами транзитивних відношень є відношення рівності  $(=)$ , подібності  $(\sim)$ , паралельності  $(\parallel)$ , строгого і нестрогого порядку  $(<)$ ,  $(>)$ ,  $(\geq)$ ,  $(\leq)$ , “бути ріднею”, “бути дільником”, “жити в одному місті” і т. ін.
7. Відношення  $R$  називається **відношенням еквівалентності** (або просто еквівалентністю), якщо воно рефлексивно, симетрично і транзитивно. Прикладами є відношення рівності  $(=)$ , паралельності  $(\parallel)$ , подібність трикутників на площині, “проживати в одному будинку”, “бути таким же” і т. ін. Позначається символом  $(\equiv)$  або  $(\leftrightarrow)$ .

### 2. Графічне зображення відношень строгої переваги у вигляді графу:

- рефлексивне відношення  $\Rightarrow$  у кожній вершині є петля;
- антирефлексивне відношення  $\Rightarrow$  відсутні петлі;
- симетричне відношення  $\Rightarrow$  всі дуги подвійні – пара протилежно направлених дуг (ненаправлені дуги, тобто ребра);
- асиметричне відношення  $\Rightarrow$  відсутні петлі, а вершини можуть бути зв’язані тільки одною направленою дугою;
- антисиметричне відношення  $\Rightarrow$  не має подвійних дуг, за винятком петель; зв’язок між вершинами, якщо вона є, зображується тільки одною направленою дугою;
- транзитивне відношення  $\Rightarrow$  якщо три чи більше вершин з’єднані дугами, то аналогічно додаванню векторів. У графі транзитивних відношень: якщо через деяку сукупність вершин проходить шлях, то існують дуги (обумовлені транзитивністю), що з’єднують будь-яку пару вершин з цієї сукупності. З метою спрощення дуги опускають, а зображують тільки цей шлях (рис. 3.5).

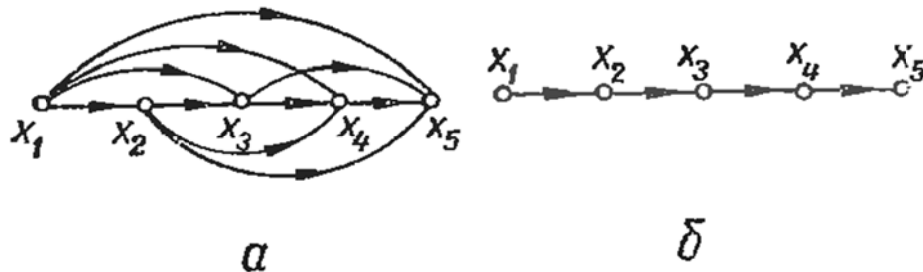


Рис. 3.5. Граф транзитивного відношення (а) і його спрощене зображення (б)

Очевидно, вказані правила мають силу не тільки для об’єктів ПГ, але й для суб’єктів. Термін “відношення” в психолого-соціальному сенсі – це “відносини”, “стосунки”.

**Пр. 1.**  $\Rightarrow$  У множині  $X = \{2, 4, 6, 8, 12\}$  задано відношення  $R$ : “кратне”. Визначити, яке це відношення?

**SE** → Напишемо це відношення  $R = \{(2;2), (4;2), (4;4), (6;2), (6;6), (8;2), (8;4), (8;8), (12;2), (12;4), (12;6), (12;12)\}$ . Побудуємо матрицю  $V$  цього відношення. Для наочності матриця зображена всередині рядка  $a_i, i = \overline{1,5} \Leftrightarrow (2, 4, 6, 8, 12)$  і стовбця  $a_j, j = \overline{1,5} \Leftrightarrow (2, 4, 6, 8, 12)$  елементів. Як бачимо, заданому відношенню відповідає одинична діагональ матриці, яка містить тільки одиниці. Тобто маємо рефлексивне відношення, на графі якого у кожній вершині є петля.

$$V = \begin{pmatrix} & 2 & 4 & 6 & 8 & 12 \\ 2 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 4 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 6 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 8 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 12 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

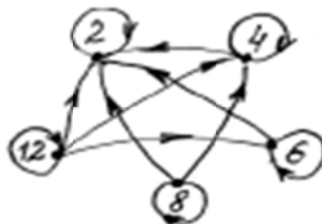


Рис. 3.6. Матриця та граф рефлексивного відношення

**Пр. 2.** → Нехай  $X = \{1, 2, \dots, 5\}$ ,  $R$  – відношення “більше” на множині  $X$ .

**SE** → Це відношення можна описати у вигляді матриці таким чином:

$$R = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$



Рис. 3.7. Матриця та граф антирефлексивного відношення

Це відношення “більше” на множині:  $X = \{1, 2, \dots, 5\}$  відноситься до типу антирефлексивне (головна діагональ матриці такого відношення містить тільки нулі), а граф має вигляд на рисунку.

**Пр. 3.** → У автора (МК) є менший за віком брат Василь Костюченко (ВК). Формалізуємо відношення вказаних суб’єктів за схемами: а) “бути старше”; б) “бути братом”, перебравши всі можливі варіанти.

**SE** → Нехай  $\mathcal{B}$  – бінарне відношення в скінченній множині  $X$  (“близькі родичі”). Для довільних елементів  $x_i, x_j$  цієї множини  $(x_i, x_j) \in \mathcal{B}$  розглянемо бінарне відношення  $\mathcal{B}$  множині  $X$ , яке виконується для всіх  $\mathcal{B} \subset X \times X$ . Якщо  $E$  – тотожне відношення, то в загальному випадку можливі такі шість варіантів:

- 1) бінарне відношення  $\mathcal{B}$  рефлексивно, якщо  $\mathcal{B} \supset E$ , тобто воно завжди виконується між об’єктом (суб’єктом) і ним самим, тобто  $x \mathcal{B} x$ , що означає рівність – не відповідає умові задачі;
- 2) бінарне відношення  $\mathcal{B}$  антирефлексивно, якщо  $\mathcal{B} \cap E = \emptyset$ , тобто може виконуватися тільки для неспівпадаючих об’єктів (суб’єктів): із  $x_i \mathcal{B} x_j$  випливає  $x_i \neq x_j$  (строга нерівність, “бути старше”), тобто відповідає першій умові задачі: “бути старше” ( $i \Rightarrow$  МК  $j \Rightarrow$  ВК).

- 3) бінарне відношення  $\mathcal{B}$  *симетрично*, якщо  $\mathcal{B} = \mathcal{B}^{-1}$ , де  $\mathcal{B}^{-1}$  – зворотне відношення. Тобто при виконанні співвідношення  $x_i \mathcal{B} x_j$  виконується співвідношення  $x_j \mathcal{B} x_i$ . Маємо симетрію, тобто відповідає другій умові задачі: “бути братом”;
- 4) бінарне відношення  $\mathcal{B}$  *асиметрично*, якщо  $\mathcal{B} \cap \mathcal{B}^{-1} = \emptyset$ , тобто з двох співвідношень  $x_i \mathcal{B} x_j$  і  $x_j \mathcal{B} x_i$ , щонайменше одне не виконується (строге включення, “бути батьком”) – не відповідає умові задачі;
- 5) бінарне відношення  $\mathcal{B}$  *антисиметрично*, якщо  $\mathcal{B} \cap \mathcal{B}^{-1} \subset E$ , тобто обидва розглянутих співвідношення  $x_i \mathcal{B} x_j$  і  $x_j \mathcal{B} x_i$  виконуються одночасно тільки тоді, коли  $x_i = x_j$  (нестрога нерівність  $\leq$ , включення) – не відповідає умові задачі;
- 6) бінарне відношення  $\mathcal{B}$  *транзитивно*, якщо  $\mathcal{B}\mathcal{B} \subset \mathcal{B}$ , тобто із  $x_i \mathcal{B} x_j$  і  $x_j \mathcal{B} x_k$  випливає таке:  $x_i \mathcal{B} x_k$  (“бути ріднею”, “жити в одному місті”, “бути родичом”).

Таким чином, графи відношень  $\mathcal{B}$  в множині  $X$  (“близькі родичі”), а саме “ $x_i$  брат  $x_j$ ” задаються множиною, елементи якої є результат декартового добутку:  $P = X \times X = \{(x_i, x_j), (x_j, x_i)\}$ . Побудуємо матрицю  $V$  цього відношення, а потім :

- а) граф бінарного *антирефлексивного* відношення  $\mathcal{B}$  “бути старше”, який являє собою одну направлену дугу між суб’єктами МК ( $x_i$ ) і ВК ( $x_j$ ) (рис.3.8, а);
- б) граф бінарного *симетричного* відношення  $\mathcal{B}$ , вершини якого зв’язані двома протилежними направленими дугами, які можна умовно замінити одною ненаправленою дугою, тобто ребром (рис.3.8, б).

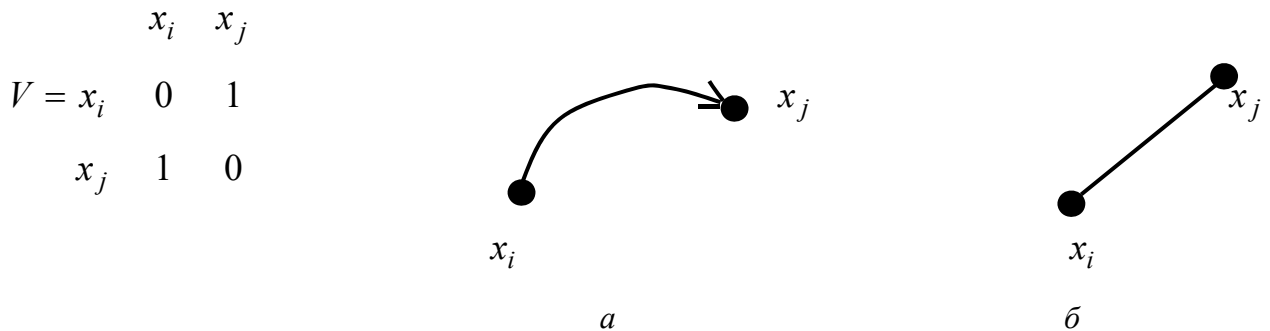


Рис. 3.8. Матриця та графи антирефлексивного (а) і симетричного відношення (б) ◀

Приклад на відношення еквівалентності ми розглянемо у 4-му розділі.

Таким чином, **відношення строгої переваги** ( $x \succ y$ ) на множині дійсних чисел  $\mathbb{R}$  має такі властивості:

1. Асиметричність, а саме: якщо правильно  $x \succ y$ , то неправильно  $y \succ x$ .
2. Від’ємна транзитивність: якщо одночасно не правильно  $x \succ y$  і  $y \succ z$ , то не правильно і  $x \succ z$ .
3. Іррефлексивність (антирефлексивність): не існує такого  $x \in X$ , що  $x \succ x$ .
4. Транзитивність:  $x \succ y \wedge y \succ z \Rightarrow x \succ z$ .

### **Бінарні відношення слабкої (нестрокої) переваги $x \succcurlyeq y$**

Відношення слабкої переваги є бінарним повним (лінійним) відношенням порядку на просторі економічних благ  $X$  та має такі властивості:

- а) повнота:  $\forall x, y \in X, x \succcurlyeq y \vee y \succcurlyeq x$ ;
- б) транзитивність:  $\forall x, y, z \in X$  виконується  $x \succcurlyeq y \wedge y \succcurlyeq z \Rightarrow x \succcurlyeq z$ ;

с) рефлексивність:  $\forall x \in X, x \succcurlyeq x$ , де пара  $(X, \succcurlyeq)$  називається **полем переваг** (це відношення впливає з попередніх);

Відношення **байдужості** ( $\sim$ ) на множині  $X$  – це бінарне відношення, при якому для будь-яких  $a, b, c \in X$  виконуються наступні умови:

- 1) рефлексивність:  $a \sim a$ , для будь-якого  $a \in X$ ;
- 2) симетричність: якщо  $a \sim b$ , то  $b \sim a$ , для  $a, b \in X$ ;
- 3) транзитивність: якщо  $a \sim b$  і  $b \sim c$ , то  $a \sim c$  (або в іншому запису:  $\forall a, b, c$  маємо, якщо  $a \sim b \wedge b \sim c \Leftrightarrow a \sim c$ ).

Як і будь-яке відношення еквівалентності, відношення байдужості розбиває простір благ на неперетинні класи байдужості, кожний з яких складається із попарно еквівалентних (байдужих) наборів. Ці набори можуть відображати непорівнянні альтернативи, які формально мають між собою відношення байдужості у зв'язку з відсутністю критерію, за яким можна віддати перевагу одному із непорівнянних наборів. (байдужість може бути також пов'язана з відсутністю достатньої інформації про альтернативи).

Вказані три види переваг на просторі економічних благ (*строга перевага*  $x \succ y$ , *слабка (нестрога) перевага*  $x \succcurlyeq y$ , *відношення байдужості*  $x \sim y$ ) лежать в основі функції корисності.

**Функція корисності  $u$**  – функція, за допомогою якої можна репрезентувати (представити) переваги на деякій множині альтернатив.

Можливість реалізації вказаної функції дає можливість використати математичну теорію оптимізації при розв'язанні задачі споживача. Ось чому функція корисності є невід'ємною частиною сучасних технічних, економічних, соціальних і дидактичних моделей.

Нехай дана деяка множина альтернатив  $X$ , на якій визначено відношення слабкої переваги  $\succcurlyeq$ . Тоді функція дійсної змінної  $u: X \rightarrow \mathbb{R}$  називається **функцією корисності**, якщо виконується умова

$$x \succcurlyeq y \Leftrightarrow u(x) \geq u(y), \quad x, y \in X, \quad (3.29)$$

де  $u$  – оператор, відображення, правило (від англ. *utility* – корисність);  $X$  – область визначення даної функції;  $\Leftrightarrow$  – знак рівносильності;  $\mathbb{R}$  (англ. *real* – дійсний) – множина дійсних чисел, цільова множина, образ функції (у даній праці часто  $\mathbb{R}$  ототожнюється з  $\mathbf{R}$  у зв'язку з обмеженнями Microsoft Equation 3.0).

Таким чином, в формулі (3.29) відношення слабкої (нестрогої) переваги між елементами  $x, y$  множини  $X$  ( $X \subset \mathbb{R}$ ) трансформується у відповідні відношення між значеннями функції корисності  $u$ .

Звертаємо увагу читачів, що функція корисності застосовується не для строгих відношень (транзитивного, антирефлексивного й антисиметричного порядку), а для відношень нестрогого (транзитивного, рефлексивного й антисиметричного порядку).

Як відомо читачам, мікроекономіка – розділ економічної теорії, який вивчає взаємодію окремих економічних суб'єктів (домогосподарства, підприємці, держава)

та досліджує механізм функціонування конкретних ринків. У мікроекономіці домінують два підходи до моделювання поведінки і вибору, а саме:

**1. Ординалістський (порядковий) підхід** (від лат. *ordinator* – що спричиняє порядок) базується на тому, що переваги індивідуума відносно запропонованих до вибору альтернатив не можуть вимірюватися кількісно, а тільки порівнюватися. При цьому вибирається краща альтернатива із наявних.

Критерій ординалістичної теорії корисності передбачає впорядкування споживачем своїх переваг щодо благ. Споживач систематизує вибір набору благ за рівнем задоволення. Подібна систематизація дає уявлення про переваги споживачів щодо набору благ. Однак вона не дає уявлення про відмінності задоволення даними наборами благ. Тобто з практичної точки зору споживач може сказати, який набір має переваги іншому, але не може визначити, наскільки один набір переважає іншого.

**2. Кардиналістський (кількісний) підхід** (від лат. *cardinalis* – головний), кількісний підхід, розроблений в кінці ХІХ – початку ХХ ст.ст. (В. Девонс, К. Менгер, Л. Вальрасі, Дж. Хіксаз та ін.), який виходить з того, що числові значення функції корисності мають істотне значення.

Кардиналістська модель поведінки споживача виходить з того, що значення функції корисності може вимірюватися за допомогою умовної одиниці – «*ютилі*» (від англ. *utility* – користь, вигідність).

**ДВ**→ Формалізуємо ординальний підхід таким чином.

Нехай на просторі товарів (виробів, послуг) задане відношення переваги  $\succsim$ . Функція  $u: X \rightarrow \mathbf{R}$  називається **функцією корисності**, яка пов'язана з відношенням переваги, якщо для всіх  $x, y \in X$  виконується

$$x \succsim y \Leftrightarrow u(x) \geq u(y). \quad (3.30)$$

Розглянемо  $n$ -вимірний евклідовий простір  $(\mathbf{R}_+^n)$ , заданий на позитивному інтервалі осі абсцис (нагадаємо читачеві, що  $n$ -вимірний евклідовий простір – це лінійний простір  $\mathbf{R}^n$  зі скалярним добутком векторів  $\mathbf{x}$  і  $\mathbf{y}$ , тобто  $\mathbf{x} \cdot \mathbf{y} = x_1 \cdot y_1 + x_2 \cdot y_2 + \dots + x_n \cdot y_n$ ). Зазначимо, що якщо  $X \subset \mathbf{R}_+^n$ , то  $u$  є числовою функцією  $n$  змінних. ◀

Достатні умови існування функції корисності (demand function) встановлює теорема Жерара Дебре (*Gerard Debreu*), американського економіста французького походження (1921-2004):

*Якщо простір товарів  $X$  є зв'язним, а відношення переваги  $\succsim$  – неперервним, то існує неперервна функція корисності  $u$ , пов'язана з відношенням переваги.*

Іншими словами, за передумови ненасичуваності споживання, загальна корисність  $u$  “строго” зростає при збільшенні обсягів споживаних товарів  $\mathbf{v}$ , тобто  $u = u(\mathbf{v})$ .

Замість функції корисності часто розглядають однофакторну **функцію попиту**, яка відображає залежність обсягу попиту  $\mathbf{v}$  (обсягу споживання блага) на окремі товари і послуги (споживчі блага) від рівнів сімейних доходів  $s$  або від ціни товару, тобто  $\mathbf{v} = \mathbf{v}(s)$ .

Відповідно цієї функції криві отримали назву криві Е. Енгеля (E.Engel), за іменем німецького вченого Е. Енгель (E.Engel).

П→ Розглянемо суперпозицію функцій, тобто застосування однієї функції до результату іншої. Нехай задана строго зростаюча функція  $f : \mathbf{R} \rightarrow \mathbf{R}$ . Якщо  $u(x) : X \rightarrow \mathbf{R}$  – **функція корисності**, яка пов’язана відношенням переваги  $\succsim$ , тоді суперпозиція (композиція, накладання) функцій  $f \circ u(x)$  має результат – складну функцію  $f[u(x)]$ , яка також є функцією корисності, пов’язаною з відношенням переваги (функція  $f$  не обов’язково повинна бути неперервною).

Функція корисності  $u(x) : X \rightarrow \mathbf{R}$  може бути вгнутою, опуклою та лінійною. Як показано в роботі [99], якщо множина  $X$  є опуклою, то функція корисності  $u(x)$  буде квазіопуклою. Очевидно, якщо переваги відповідають властивості монотонності (строгої монотонності), то функція корисності  $u(x)$  буде *монотонною (строго монотонною)*. ◀

На рис. 3.9 поданий графік функції корисності особи, яка не схильна до ризику.

З утилітарних позицій (від лат. *utilis* – користь, вигода) монотонність відношення переваги означає, що споживач віддає перевагу більшим споживчим наборам над меншими. Окрім цього, властивість строгої монотонності функції корисності узгоджується з поведінкою споживачів у більшості ситуацій.

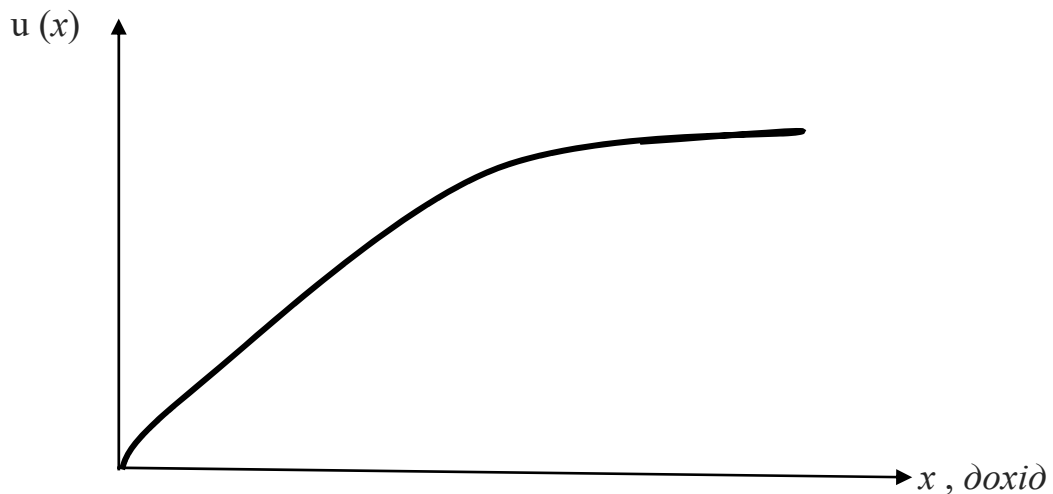


Рис. 3.9. Графік квазіопуклої функції корисності

П→ Часто властивість строгої монотонності формують як **аксіому ненасичуваності споживача**. Нехай маємо два довільні набори  $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ ,  $y = (y_1, y_2, \dots, y_n)$ . Формальне введення монотонності відношення переваги вимагає уточнення словосполучення “більший набір”. Це можна здійснити за допомогою порівняння за відношеннями переваги, а саме:

- $x \succsim y \Leftrightarrow x_i \succsim y_i \wedge x \neq y$ . Відношення  $\succsim$  означає, що кожного з товарів у наборі  $x$  є не менше ніж в наборі  $y$ , а також принаймні одного товару є більше.
- $x \succ y \Leftrightarrow x_i \succ y_i \wedge x \neq y$ . Відношення  $\succ$  означає, що кожного з товарів у наборі  $x$  є більше ніж у наборі  $y$ .

Належить зазначити, що можуть порівнюватися набори (кошики) з однорідним товаром і різнорідним товаром. У першому випадку набори є порівнювальними за відношенням переваги, а другому випадку – як за відношенням переваги, так і за величиною (складом товарів). Тому в загальному випадку формалізація порівняння наборів є неповною. При цьому застосування знаку імплікації ( $\Rightarrow$ ) в означенні монотонності відноситься тільки до відношення переваги.

Відношення переваги є **строго монотонним**, якщо

$$x \succcurlyeq y \Rightarrow x \succ y. \quad (3.31)$$

Відношення переваги є **слабо монотонним**, якщо

$$x \succ y \Rightarrow x \succcurlyeq y. \quad (3.32)$$

Серед **немонотонних відношень переваги** можна виділити два класи:

- 1) клас, в якому існує точка насичення, яка відповідає за скінченний найкращий споживчий набір;
- 2) клас, в якому один або декілька товарів є “антидобрими” (поганими), тому зменшення кількості вказаних товарів робить набір кращим.

**Умови існування функції корисності  $u(x)$ :**

1. **Корисність альтернативи** оцінюється не тільки суб'єктами, які приймають рішення і втілюють його в життя, але й суміжними суб'єктами, життєві інтереси яких порушені реалізацією даної альтернативи.
2. Для того, щоб переваги можна було б подати у вигляді функції корисності необхідно, щоб сама перевага була раціональна, тобто відповідала аксіомам повноти і транзитивності.
3. **Достатні умови** подання переваги у вигляді функції корисності  $u(x)$  залежить від самої множини альтернатив  $X$  і від властивостей переваг. Якщо множина  $X$  кінцева або зліченна, а відношення переваг раціонально, то існує функція корисності  $u(x)$ , яка представляє ці переваги.
4. Якщо множина  $X$  незліченна, то доводиться додатково вимагати неперервності переваг. У даному випадку теорема Дебре гарантує існування функції корисності. Більш того, отримана при доведенні теореми Дебре функція корисності є неперервною.
5. Для того, щоб отримати функцію корисності  $u(x)$  з тими чи іншими властивостями, треба на переваги накладати додаткові умови. Зокрема, можна вимагати окрім монотонності також локальної насичуваності та випуклості.
6. Неперервність хоча і є достатньою умовою існування функції корисності  $u(x)$ , яка являє собою раціональну перевагу, проте неперервність функції  $u(x)$  не є необхідною умовою. Так, наприклад, функцію корисності, яка являє собою цілу частину числа  $u(x) = [x]$ ,  $x \in \mathbf{R}$ , відображає переваги, які не є неперервні. Сама функція  $u(x)$  при цьому також розривна (рис. 3.10).

Зазначимо, що ціла частина дійсного числа  $[x]$  – округлення дійсного числа  $x$  до найближчого цілого в меншу сторону (“підлога”) або в більшу сторону (“стеля”). Первісне позначення  $[x]$  увів Гаусс, а вказані дві метафори – К. Айверсон у 1962 р. ◀

Припустимо, що всі блага є довільно подільні. Нехай  $n$  – загальне число наявних благ ( $i = \overline{1, n}$ ). Кожний споживчий набір описується вектором  $\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n)$  і може ототожнюватися з точками простору  $\mathbf{R}^n$ , який має назву **простір благ і послуг**. Цей абстрактний простір є підсистемою **фізичного і соціального простору** (останній термін уведений П. Бурдьє в 1990 р.).

**П**→ Очевидно **простір альтернатив**  $X$  є підмножиною простору благ ( $X \subset \mathbf{R}^n$ ), тобто є невід'ємним ортантом  $\mathbf{R}_+^n$ . Зазначимо, що **ортант**  $\mathbf{R}_+^n$  в  $n$ -вимірному просторі можна розглядати як перетин  $n$  взаємно перпендикулярних напівпросторів; всього в  $n$ -вимірному просторі є  $2^n$  ортантів. Роль ортантів у двовимірному просторі відіграють квадранти, яких всього чотири.

Невід'ємність елементів вектора  $\mathbf{x}$  означає, що кожен товар  $x_i, i = \overline{1, n}$  може бути присутнім, або наявним ( $x_i > 0$ ) або відсутнім ( $x_i = 0$ ) в споживчому наборі, але не розглядаються ситуації, коли споживач позбавляється від певної кількості товару.

Система переваг, як ми раніше розглянули, може бути дуальною: перша формально базується на відношенні нестрогої (слабої) переваги, а друга – на відношенні строгої переваги.

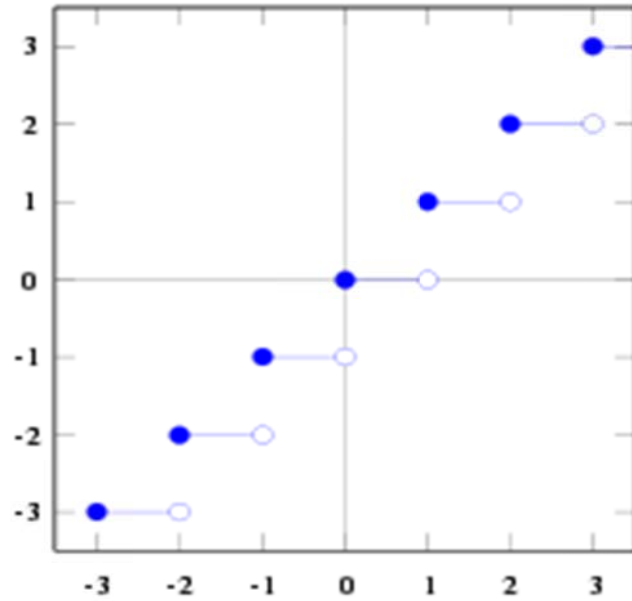


Рис. 3.10. Графік функції  $u(x) = [x]$  – ціла частина числа («підлога»)

Неокласична (від гр. *neos* – новий) система переваг ( $\sim, >, \geq$ ) включає в себе відношення байдужості ( $\sim$ ), суворе (строге) ( $>$ ) й несуворе (нестроге) ( $\geq$ ) відношення переваги, пов'язані між собою “природним” чином. У разі, якщо за основу взяти строге відношення переваги, то цей взаємозв'язок можна виразити таким чином:

- a) нестрога перевага еквівалентна запереченню зворотної строгої переваги (тобто  $x$  “не гірше”  $y$  буде еквівалентно тому, що  $y$  “не краще”  $x$ );
- b) відношення байдужості еквівалентно запереченню прямого і зворотного строгих переваг (тобто байдужість означає, що  $x$  “не краще” і “не гірше”  $y$ ).

Якщо ж за основу брати нестроге відношення переваги, то відповідно маємо:

- a) сувора перевага еквівалентна тому, що має місце нестрога перевага і неправильна зворотна нестрога перевага, тобто:  $x > y \Leftrightarrow x \geq y \wedge \neg (y \geq x)$ ;
- b) відношення байдужості еквівалентно одночасній справедливості “прямого” ( $x \geq y$ ) і “зворотного” ( $y \geq x$ ) відношення нестрогої переваги, тобто:  $x \sim y \Leftrightarrow x \geq y \wedge y \geq x$ .

Для неокласичних переваг виконуються наступні властивості:

- $\forall x, y \in X$  виконується рівно одне із відношень  $x \sim y, x > y$  або  $y > x$ ;
- $x \geq y \wedge y > z \Rightarrow x > z$ ;
- $x > y \wedge y \geq z \Rightarrow x > z$ . ◀

Поглибимо уявлення про сутність **кардиналістського підходу**.

Очевидно, що величина **загальної корисності** (*the total utility* – TU) залежить від властивостей блага і якості послуг, а також від кількості благ і послуг, тобто визначаються функціонально. Маючи на меті максимізацію корисності, споживач оцінює споживчу властивість кожного товару в “**ютилях**” і вибирає товар з найбільшим його числом (за умови, якщо споживач має відповідні фінансові ресурси).



У загальному випадку *суб'єктивна оцінка корисності* споживчого блага залежить від декількох чинників:

- 1) від рівня значимості товару (блага), який купується, або від рівня важливості тієї потреби, яка задовольняється за його допомогою, або від якості послуги, яка надається споживачу. Зазначимо, що існує ієрархія потреб [Маслоу] в порядку ранжування: вітальні (фізіологічні), потреби в безпеці та впевненості у майбутньому, соціальні, статусні, потреби в самореалізації і т. д.;
- 2) від наявного запасу благ (якщо певного товару індивід має вдосталь, то потреба в ньому задоволена);
- 3) від рівня насичення потреб даного блага (один великий шматок хліба має значно більшу загальну корисність, аніж малий).

Окрім *загальної корисності* існує поняття "*гранична корисність*", яка скорочено позначається як **MU** – *marginal utility* (гранична корисність).

*Гранична корисність (MU)* – це додаткова корисність, яка додається до кожної наступної одиниці споживчого блага.

Практика показує, що *по мірі споживання якого-небудь блага, ступінь насичення цим благом зростає, а величина відповідної потреби зменшується.*

Це означає, що кожна наступна одиниця блага, що задовольняє дану потребу, має менше користі, ніж попередня. Зміни загальної та граничної корисності ілюструється в конкретному випадку емпіричними числовими даними, поданими в табл. 3.2.

Таблиця 3.2

Динаміка зміни загальної та граничної корисності

№ з/п	Кількість благ, одиниць	Загальна корисність TU, "ютилів"	Гранична корисність MU, "ютилів"
1	1	7	7
2	2	13	6 (13 – 7)
3	3	18	5 (18 – 13)
4	4	20	2 (20 – 18)
5	5	20	0 (20 – 20)

Узагальнюючи конкретні емпіричні дані динаміки зміни загальної та граничної корисності можна зробити такі висновки:

- 1) загальна корисність TU зі збільшенням кількості блага поступово зростає;
- 2) гранична корисність з кожною додатковою одиницею блага буде нижчою, ніж попередня; гранична корисність блага зменшується зі збільшенням його кількості; кожна наступна одиниця блага приносить споживачу менше задоволення, ніж попередня.



У 1854 р. пруський економіст Г. Госсен (1810-1858) сформулював два закони математичної економіки.

**Герман Генріх Госсен (1810-1858)** – пруський економіст, попередник математичної й австрійської шкіл в економіці. Він перший математично обґрунтував основні принципи теорії граничної корисності, є автором законів Госсена. Г. Госсен виходив із тези, що раціональна поведінка визначається прагненням до збільшення корисності та задоволення.

**Перший закон Госсена** (закон спадної граничної корисності): *кожна наступна одиниця блага приносить споживачу менше задоволення, ніж попередня. Іншими словами, при послідовному споживанні корисність кожної послідовної одиниці продукту нижче попередньої.*

Корисність залежить не тільки від споживчих властивостей самого блага, але й від процесу його споживання, зокрема від ступеня насичення ним. Закон стверджує той факт, що в міру збільшення кількості споживаного блага  $Q$ , загальна корисність ( $TU$ ) від його споживання зростає, але в усе меншій пропорції, а гранична корисність ( $MU$ ), або додаткова корисність від споживання додаткової одиниці, буде скорочуватися.

На рис. 3.11 і на рис. 3.12 показані функціональні залежності, в яких як аргумент  $Q$  є кількість одиниць блага, який готовий купити споживач, а роль функції відіграє  $TU$  – корисність, яку можна отримати за відповідної кількості благ, а також – гранична корисність ( $MU$ ).

Очевидно, властивість спадної граничної корисності  $MU$  є наслідком опуклості функції корисності  $u(x)$ . Якщо функція двічі диференційована, то властивість означає, що друга частинна похідна такої функції менша нуля

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x_i^2} < 0. \quad (3.33)$$

Лінія (поверхня, гіперповерхня) рівня функції корисності, яка задовольняє рівність  $u(x) = \text{const}$  називається **кривою байдужості**.

Таким чином, перший закон Госсена, або закон насичення потреб стверджує, що зі збільшенням кількості даного блага гранична корисність його зменшується, а за умови повного задоволення потреб споживача вона дорівнюватиме нулю. Строгою формою першого закону Госсена у сучасній теорії споживання є опуклість відношення переваги.

При наявності певної кількості різноманітних продуктів індивідуум на протязі певного проміжку часу може їх спожити в різних комбінаціях. При цьому одна із комбінацій може бути найбільш вигідною, що приносить максимум насолоди. Це досягається при встановленні рівності граничних корисностей всіх продуктів. Наступне наближення вимагає розглядати головні фактори, які обмежують споживання: ціна товару (економічної послуги) та кількість грошей.

Оптимальним буде той варіант споживання, при якому досягається рівність між граничними корисностями, отриманими від останніх грошових одиниць, витрачених на купівлю окремих товарів або на отримання послуги.

Вище сформульований тезис втілений у **другому законі Госсена**: *Людина отримує максимум життєвого насолоди, якщо вона розподіляє зароблені гроші між різними задоволеннями таким чином, що останній витрачений на кожне задоволення атом грошей приносить одну і ту ж кількість насолоди. Іншими словами, при заданих цінах і бюджеті споживач досягне максимуму корисності тоді, коли відношення граничної корисності до ціни однаково за всіма споживаними благами.*

**ДВ→** Нині другий закон має більш строгі формулювання в припущенні, що корисність щонайменше слабо квантифікується, тобто переводиться в числову форму.

Зокрема, квантифікація в психології (лат. *quantum* – скільки, *facio* – роблю) – зведення якісних оцінок психічних явищ до кількісних з метою їх формалізації шляхом спеціальних кванторів, зокрема методом полярних балів [163, с. 54].

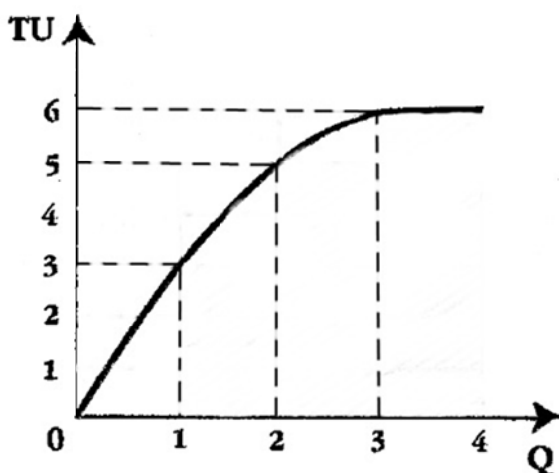


Рис. 3.11. Залежність  $TU = f(Q)$

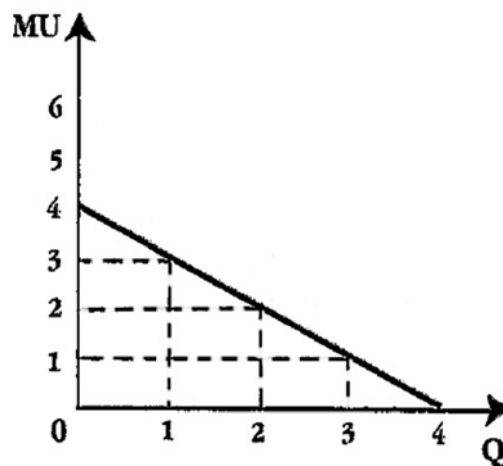


Рис. 3.12. Залежність  $MU = φ(Q)$

Як наслідок, вказаний закон має ще таке трактування: в рівноважній точці суб'єкт буде розподіляти свої витрати таким чином, що відношення граничної корисності до ціни товару (граничної витрати придбання) буде однаковим для всіх товарів й економічних послуг.

Цей закон згодом широко використовувався математичними школами для пояснення явищ попиту і ціноутворення.

Другий закон Госсена з точки зору математичного аналізу: оптимальна структура споживання (попиту) досягається за умов рівності відношення граничних корисностей до цін для всіх благ, що споживаються, тобто рівності часткових похідних:

$$\frac{\partial u / \partial x_i}{c_i} = \frac{\partial u / \partial x_j}{c_j}, \forall (i, j), \quad (3.34)$$

де  $u$  – функція корисності;  $x_i$  ( $x_j$ ) – кількість  $i$ -го ( $j$ -го) товару чи послуги;  $c_i$  ( $c_j$ ) – ціна (the cost)  $i$ -го ( $j$ -го) товару чи послуги. ◀

У 1944 році вийшла монографія Джона фон Неймана і Оскара Моргенштерна “Теорія ігор й економічна поведінка”, в якій автори узагальнили і розвинули результати теорії ігор і запропонували новий метод для оцінки корисності благ. Вказаний метод вписується в розвинуту ними **теорію очікуваної корисності**.



**Джон фон Нейман** (1903-1957) – угорсько-американський математик єврейського походження, який зробив важливий внесок у квантову фізику, квантову логіку, функціональний аналіз, теорію множин, інформатику, економіку та інші галузі науки.

Автори своєї теорії відзначають, що поняття раціональної поведінки (максимізації корисності або прибутку), які лежать в основі **маржиналізму** (від фр. *marginalisme* – додатковий) – напряду в економічній науці, який признає принцип зменшення граничної корисності фундаментальним елементом теорії вартості – недостатньо визначено кількісно.



**Оскар Моргенштерн** (1902-1977) – американський економіст німецького походження, один з творців теорії ігор.

На відміну від теорії вартості (К. Менгер, У. С. Джевонс і Л. Вальрас), фон Нейман і Моргенштерн запропонували модель, в якій кожний учасник економіки громадського обміну відрізняється тим, що результат його дій залежить не тільки від нього, але й від дій інших. Тому при намаганні максимізувати деяку функцію він стикається з елементами, які знаходяться не під його контролем.

У ситуації подібної невизначеності або ризику очевидно важко сформулювати критерій раціональної поведінки. Ось чому фон Нейман і Моргенштерн перейшли від вибору між певними наслідками до вибору між лотереями, які включають кілька невизначених фіналів, і довели, що критерієм раціональності тут може служити **максимізація очікуваної корисності**: *раціональний економічний суб'єкт повинен вибирати варіант поведінки (лотерею), який володіє максимальним значенням певної змінної, яка називається очікуваною корисністю.*

**П**→ Звернемося до теорії ігор. Нехай деякий гравець в карти вважає, що із трьох наслідків (результатів)  $x$ ,  $y$  і  $z$  найкращим для нього є  $x$ , а найгіршим  $z$ . Формалізуємо цю думку гравця через суворе відношення ( $>$ ):  $x > y > z$ . Цей гравець має свою функцію корисності  $u(x)$ , область визначення якої  $D(u)$  є множина наслідків (результатів)  $X$ , а множиною значень – множина дійсних чисел  $\mathbb{R}$ . Функція корисності визначається так, що більш переважному (кращому) наслідку відповідає більше число, тобто  $u(x) > u(y) > u(z)$ .

Нехай функція корисності  $u(x)$  задовольняє властивостям (умовам) повноти і транзитивності. Ця функція задана на множині  $X$ , і має множину значень  $\mathbb{R}$ , тобто  $u: X \rightarrow \mathbb{R}$ . Визначимо цю функцію на множині лотерейних наслідків. Під поняттям лотерея розуміють наслідок, який залежить від випадку. Нехай дана кінцева множина  $X$  “чистих” наслідків. Тоді лотерея на  $X$  задається зазначенням імовірності  $p(x)$  настання кожного результату  $x \in X$ . Числа  $p(x) > 0$  і в сумі дорівнюють одиниці.

Якщо  $\otimes$  – символ прямого (тензорного, кронекерового) добутку, то **лотерея** – це формальна комбінація виду [4]:

$$\sum_{x \in X} p(x) \otimes x, \text{ де } p(x) \geq 0, \forall x, \sum_{x \in X} p(x) = 1 \quad (3.35)$$

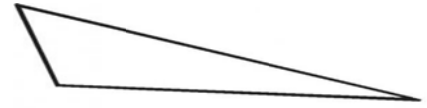
Зауважимо, що добуток Кронекера – бінарна операція над матрицями довільного розміру. Результатом є блокова матриця. Цю операцію не слід плутати зі звичайним множенням матриць. Операція названа на честь німецького математика Леопольда Кронекера (1823-1891).

Позначимо через  $\Delta(X)$  множину всіх можливих лотерей на множині  $X$ . Тоді з кожним “чистим” наслідком  $x \in X$  можна зв'язати “вироджену” лотерею  $1 \otimes x$ , яка гарантовано буде давати цей наслідок  $x$ . Тим самим вихідна множина  $X$  реалізується як підмножина  $\Delta(X)$ . Геометрично  $\Delta(X)$  означає множину вершин. Іншими словами,  $\Delta(X)$  – це симплекс, натягнутий на множину вершин  $X$ .

Зокрема, якщо  $X$  складається з одного елемента  $x$ , то  $\Delta(X)$  – точка, якщо із двох  $x_1, x_2$  – відрізок, якщо із трьох  $x_1, x_2, x_3$  – трикутник зі сторонами, довжини яких рівні ймовірностям  $p(x)$  (див. рис. біля табл. справа).

Окрім цього, лотерею можна зобразити таблицею, аналогічно закону розподілу дискретної випадкової величини, стовбці якої відтворюють екстремальні та нульовий виграші, оцінювані функцією ймовірності.

$x$	Виграш max	Виграш min	Виграш нуль
$p(x)$	0,1	0,4	0,5



Геометричною інтерпретацією є довжини сторін гострокутного трикутника. ◀

Означення 1. **Корисність** – це деяке число, приписуване ОПР кожному можливому результату. Функція корисності Неймана-Моргенштерна для ОПР показує корисність, яку він приписує кожному можливого результату. У кожного ОПР своя функція корисності, яка показує його перевагу до тих чи інших наслідків залежно від його ставлення до ризику.

Звернемося до лотерей на множині  $X$ . Припустимо, що ми маємо **функцію корисності**  $u: X \rightarrow \mathbb{R}$ , тобто можна покласти  $x \succ y \Leftrightarrow u(x) \geq u(y)$ . Доозначимо функцію корисності  $u(x)$  на множині лотерейних наслідків.

Означення 2. **Очікувана корисність** події  $U$  дорівнює сумі добутків ймовірностей наслідків (результатів) на значення корисностей цих наслідків.

Таким чином, **очікувана корисність Неймана-Моргенштерна** лотереї  $p \in \Delta(X)$  називається математичне сподівання  $u(x)$ , тобто число:

$$U(p) = \sum_{x \in X} p(x) \cdot u(x), \quad (3.36)$$

або в інших позначеннях

$$U = \sum_{i=1}^n p_i \cdot u(x_i), \quad \sum_{i=1}^n p_i = 1, \quad i = \overline{1, n}, \quad (3.37)$$

де  $n$  – число благ.

Зазначимо, що **нормативний підхід до прийняття рішень** базується на моделях очікуваної корисності (термін “нормативний” означає “оцінювальний” відносно певних норм, від лат *normatio* – упорядкування).

Витоки модельної побудови прийняття рішень виходять до Блеза Паскаля (1623-1662), який запропонував тактику вибору в азартних іграх: *вибирай ту альтернативу, при якій буде максимальний добуток можливого виграшу на його ймовірність*.

Потім цю ідею відхватали і почали активно розробляти Данііл Бернуллі (1700-1782), а згодом і П’єр-Сімон де Лаплас (1749-1827). Однак досконалу та практичну форму надали вказаній ідеї Дж. фон Нейман і О. Моргенштерн, які й розробили нижче розглянуту теорію очікуваної корисності.

**П→** Нехай маємо бінарне відношення ( $\succ$ ) на  $\Delta(X)$  і три лотереї на  $X$ :  $\alpha, \beta, \gamma$ . Сформулюємо три аксіоми на це відношення [4]:

- 1) аксіома слабкого порядку: повнота + транзитивність;
- 2) аксіома заміщення, або незалежності. Якщо  $\alpha \succ \beta$ , то для будь-якої лотереї  $\gamma$  і будь-якого числа  $v$ , значення якого лежить між 0 і 1, виконується нерівність:  $v\alpha + (1-v)\gamma \succ v\beta + (1-v)\gamma$ .
- 3) аксіома неперервності: відношення  $\succ$  замкнуте.

**Теорема** Неймана-Моргенштерна про очікувану корисність стверджує: якщо перевага на  $\Delta(X)$  задовольняє вище сформульованим аксіомам, тоді існує функція корисності  $u$  на  $X$  така,

що перевага  $\succ$  задається **очікуваною корисністю**  $U(p) = \sum_{x \in X} p(x) \cdot u(x)$ . При цьому функція

корисності  $u(x): X \rightarrow \mathbb{R}$  визначена однозначно з точністю до монотонного афінного перетворення.

Зазначимо, що **афінне перетворення** (лат. *affinis* – пов'язане з) – відображення  $f: \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}^n$ , яке можна записати у вигляді

$$f(x) = Qx + w, \quad (3.38)$$

де  $w \in \mathbb{R}^n$ , а  $Q$  – невироджена матриця.

Інакше кажучи, відображення називається афінним, якщо його можна отримати наступним способом:

а) отримати новий базис простору з новим початком координат  $w$ ;

б) координатам  $x$  кожної точки простору поставити у відповідність нові координати  $f(x)$ , які мають те саме положення в просторі відносно нової системи координат, яке координати  $x$  мали в старій системі.

Очевидно, функція очікуваної корисності  $U$  є адитивною, а **функціонал ризику** ( $\mathcal{R}$ , *risk*) – лінійним. Теорія очікуваної корисності допомагає за допомогою невизначеності оцінити корисність блага з точністю до позитивного афінного перетворення. Такий підхід використовується, наприклад, при моделюванні поведінки агента в умовах невизначеності з використанням функції корисності фон Неймана-Моргенштерна. В цьому випадку часто використовуються грошові, а не абстрактні одиниці корисності, і тому різниця значень уже має економічний сенс.

Очевидно, що ОПР при виборі (прийнятті рішення) буде прагнути до **максимізації очікуваної корисності**. Іншими словами, з усіх можливих рішень він вибере те, яке забезпечує найбільшу очікувану корисність.

**Методологія раціонального прийняття рішень в умовах невизначеності, заснована на функції корисності індивіда, спирається на шість аксіом**, які відображають мінімальний набір необхідних умов несуперечливої та раціональної поведінки гравця.

Припустимо, що конструюється гра, в якій індивід з імовірністю  $p$  отримує грошову суму  $x$  і з імовірністю  $(1 - p)$  – суму  $z$ . Цю ситуацію позначимо  $G(x, z; p)$ . Тоді виконуються п'ять аксіом.

**Аксіома 1. Аксіома порівняльності (повноти).** Для всієї множини  $S$  невизначених альтернатив (можливих результатів) індивід може сказати, що або результат  $x$  краще (вагоміше) за другий результат  $y$  ( $x \succ y$ ), або  $y \succ x$ , або індивід байдужий в ставленні до вибору між  $x$  і  $y$  ( $x \sim y$ ).

**Аксіома 2. Аксіома транзитивності** (спроможності). Якщо  $x \succ y$  і  $y \succ z$ , то  $x \succ z$ . Якщо  $x \sim y$  і  $y \sim z$ , то  $x \sim z$ .

**Аксіома 3 Сильної незалежності.** Припустимо, що ми конструюємо лотерею, у якій індивід з імовірністю  $p$  одержує грошову суму  $x$  та з імовірністю  $(1 - p)$  – суму  $z$ , тобто  $G(x, p, z)$ . Сильна незалежність означає, що якщо індивід байдужий щодо вибору між  $x$  і  $y$  ( $x \sim y$ ), то він також буде байдужий стосовно вибору між лотереєю  $G(x, p, z)$  і лотереєю  $G(y, p, z)$ , тобто з  $x \sim y$  випливає таке співвідношення:  $G(x, p, z) \sim G(y, p, z)$ .

**Аксіома 4. Аксіома рівносильності.** Якщо  $x \sim y$ , то  $G(x, z; p) \sim G(y, z; p)$ .

**Аксіома 5. Аксіома вимірності.** Якщо  $x \succ y \sim z$  або  $x \sim y \succ z$ , то існує єдина ймовірність  $p$ , така, що  $y \sim G(x, z; p)$ , де  $0 \leq p \leq 1$ .

**Аксіома 6. Аксіома ранжирування.** Якщо альтернативи  $y$  і  $u$  знаходяться за перевагою між альтернативами  $x$  і  $z$  і можна побудувати ігри, такі, що індивід байдужий щодо вибору між  $y$  і  $G(x, z; p_1)$ , а також до вибору між  $u$  і  $G(x, z; p_2)$ , то при:  $p_1 > p_2 : y \succ u$ .

Проілюструємо практичну реалізацію введених понять на прикладі розрахунку **очікуваної грошової оцінки** (ОГО) і зіставлення цього значення з очікуваною корисністю.

Твердження аксіом цілком відповідає здоровому глуздові: чим більша ймовірність великого виграшу, тим більше гра “коштує”, тобто тим більша плата потрібна за здобуття права брати участь у цій грі. Якщо прийняти наведені аксіоми і припустити, що люди віддають перевагу

більшій кількості деякого блага порівняно з меншою кількістю, то все це в сукупності визначає раціональну поведінку ОНР.

За умови названих припущень американськими вченими Нейманом і Моргенштерном було показано, що ОНР у разі ухвалення рішення буде прагнути до максимізації очікуваної корисності. Іншими словами, з усіх можливих рішень він вибирає те, що забезпечує найбільшу очікувану корисність.

Дж. Нейман і О. Моргенштерн запропонували процедуру побудови індивідуальної функції корисності, яка уможливорюється при здатності ОНР оцінювати значення корисності кожного з припустимих наслідків.

Сформулюємо визначення корисності за Нейманом – Моргенштерном:

1. **Корисність** – це деяке число, приписуване особою, що приймає рішення, кожному можливому результату. Функція корисності Неймана – Моргенштерна для ОНР показує корисність, яку вона приписує кожному можливому результату. У кожній ОНР своя функція корисності, що показує її перевагу тих чи інших наслідків залежно від її відношення до ризику.
2. **Очікувана корисність події** дорівнює сумі добутків ймовірностей результатів на значення корисностей цих результатів. ◀

Процедура побудови індивідуальної функції корисності  $U(v)$ , де  $v$  – прибуток, одержуваний при різних результатах, полягає в наступному.

Функцію корисності  $U(v)$  можна задавати з точністю до деякого монотонного перетворення.

Нехай ОНР небайдужий до ризику. ОНР відповідає на ряд запитань анкети, виявляючи при цьому свої індивідуальні переваги, що враховують його ставлення до ризику. Значення очікуваної корисності можуть бути знайдені за два кроки:

Крок 1. Присвоюються довільні значення корисності виграшам для гіршого і кращого наслідків (результатів), причому першій величині (гірший наслідок) ставиться у відповідність менше число.

Крок 2. Гравцеві пропонується на вибір: одержати деяку гарантовану грошову суму  $v$ , що знаходиться між кращим і гіршим значеннями  $S$  і  $s$ , або прийняти участь у грі, тобто отримати з імовірністю  $p$  найбільшу грошову суму  $S$  і з імовірністю  $(1-p)$  – найменшу суму  $s$ . При цьому ймовірність варто змінювати (знижувати або підвищувати) доти, поки ОНР стане байдужою щодо вибору між одержанням гарантованої суми і грою.

Нехай вказане значення ймовірності рівне  $p_0$ . Тоді **корисність гарантованої суми** визначається як математичне очікування (середнє значення) корисностей найменшої та найбільшої сум, тобто

$$U(v) = p_0 \cdot U(S) + (1 - p_0) \cdot U(s). \quad (3.39)$$

Якщо визначена метрична шкала вимірювання, то можна побудувати функцію очікуваної корисності  $u = u(x)$ , де  $x$  – наслідок (роль  $x$  може відігравати дохід).

На рис.3.13 зображені функції очікуваної корисності для трьох випадків:

- а) ОНР не схильна до ризику;
- б) ОНР байдужа до ризику;
- в) ОНР схильна до ризику.

Таким чином, маємо такі випадки:

- ❖ ОНР не схильна до ризику тоді і тільки тоді, коли її функція корисності строго увігнута, у якій кожна дуга кривої лежить вище від своєї хорди (рис. 3.13, а).

- ❖ ОПР схильна до ризику тоді і тільки тоді, коли функція корисності строго опукла вниз, у якої кожна дуга кривої лежить нижче від своєї хорди (рис. 3.13, в). ОПР нейтральна до ризику тоді і тільки тоді, коли функція корисності – пряма лінія (рис. 3.13, б).

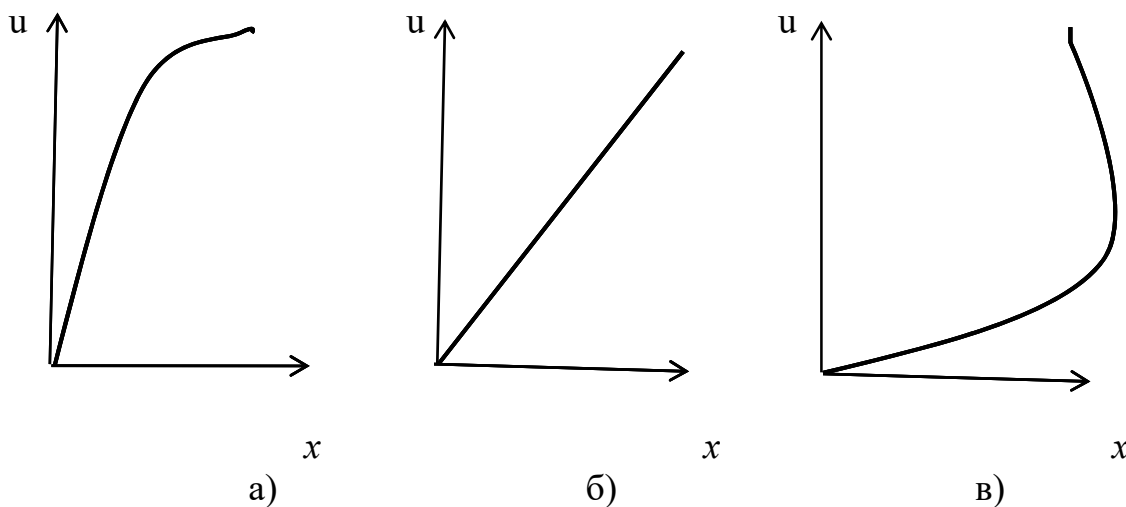


Рис. 3.13. Графіки типів функцій корисності Неймана-Моргенштерна для ОПР

- ❖ Існує також функція схильності-несхильності до ризику (див. рис. 3.14).

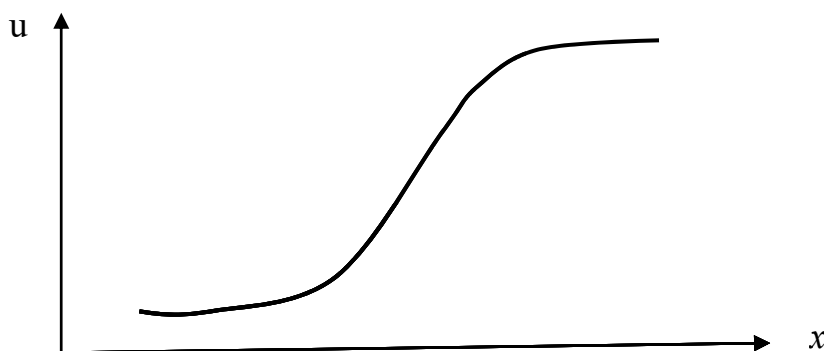


Рис. 3.14. Функція схильності-несхильності до ризику

На різних рівнях доходу (багатства) ставлення ОПР до ризику може змінюватися. Досить реалістичною гіпотезою є схильність до ризику при невеликих сумах загального статку і несхильність до ризику при значних сумах.



Ми не можемо не розглянути ключове поняття теорії ігор – **рівновага Неша**.

**Джон Форбс Неш молодший** (1928-2015) – американський математик, який працював у галузі теорії ігор та диференціальної геометрії. Незважаючи на те, що він з 30-и років хворів шизофренією, є лауреатом Нобелівської премії з економіки (1994). Відомий завдяки: “Рівновага Неша”, “Теорема вкладання Неша”, “Функція Неша”, “Теорема Неша–Мозера”.

Рівновага Неша застосовується для безкоаліційних ігор, в яких обмін інформацією між гравцями відсутній, тому неможливе утворення коаліцій.



Нехай  $G = (S, H)$  – деяка гра  $n$  осіб в нормальній формі (гравці отримують всю призначену ним інформацію до початку гри), де  $S$  – набір чистих стратегій (вибір дій гравця відбувається за яким-то фіксованим правилом), а  $H$  – набір вигащів. Кожний гравець  $i \in \{1, 2, \dots, n\}$  вибирає стратегію  $x_i \in S$  в профілі стратегій  $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$  та можливо отримує вигащ  $H_i(x)$ .

Очевидно, що цей вигащ залежить від всього профілю стратегій, тобто не тільки від стратегії  $x_i$ , вибраної самим гравцем  $i$ , але й від чужих стратегій  $x_{-i}$ , тобто всіх стратегій  $x_j$  при  $j \neq i$ .

Профіль стратегій  $x^* \in S$  є рівновагою за Нешом, якщо зміна своєї стратегії з  $x_i^*$  на  $x_i$  не вигідно ні одному гравцю  $i, i = \overline{1, n}$ , тобто для будь-якого  $i$  виконується **принцип стійкості Неша**: вибір раціональної стратегії повинен здійснюватися серед множини точок рівноваги, які задовольняють умову:

$$H_i(x^*) \geq H_i(x_i, x_{-i}^*). \quad (3.40)$$

Таким чином, **рівновага Неша** – це ситуація, коли ні у жодного гравця немає стимулів змінювати свою стратегію при будь-якій стратегії іншого гравця (ніяке відхилення від стратегії якимось одним гравцем не приносить йому прибутку). ◀



Розвиток теорії очікуваної корисності Неймана-Моргенштерна здійснив у 1954 р. **Леонард Джиммі Севідж** (1917-1971), американський математик і статистик. Він запропонував **теорію суб'єктивної очікуваної корисності**, тобто одну із розгалужень сучасної теорії корисності або теорії прийняття рішень.

**ДВ**→ Теорія суб'єктивної корисності базується на двох припущеннях:

1. наявність індивідуальної функції корисності  $u(x)$  блага для кожного індивіда.
2. персональний розподіл імовірності на основі байєсівської теорії ймовірності.

Нехай розглядається подія  $A$ , яка може наступити за умови появи однієї із несумісних подій-гіпотез  $B_1, B_2, \dots, B_n$ , які утворюють повну групу подій. Якщо подія  $A$  вже відбулася, то ймовірності подій-гіпотез  $B_i, i = \overline{1, n}$  можуть бути переоцінені за **формулою Бейеса**:

$$P(B_i | A) = \frac{P(B_i) \cdot P(A | B_i)}{P(A)}. \quad (3.41)$$

де  $P(B_i), P(A)$  – абсолютні ймовірності подій  $B_i (i = \overline{1, n})$  і  $A$  відповідно,  $P(A | B_i)$  – умовні ймовірності події  $A$  за умови, що події  $B_1, B_2, \dots, B_n$  вже відбулися. ◀

У 1954 р. Л. Дж. Севідж у своїй праці “Основи статистики” запропонував теорію суб'єктивної очікуваної корисності, яка використовує байєсівську статистику та теорію гри. У теорії Л. Севіджа є твердження, що за умов дотримання раціональності, індивід оцінює можливий результат вибору  $x_i, i = \overline{1, n}$  з корисністю  $u(x_i)$  та оцінює ймовірність появи результату  $x_i$  як  $P(x_i)$ , де  $P(\cdot)$  – індивідуальна функція розподілу ймовірності.

Л. Севідж стверджував, що за умов дотримання раціональності, для індивіда, який оцінює можливий результат  $x_i$  з корисністю  $u(x_i)$  та оцінює ймовірність появи результату  $x_i$  як  $p(x_i)$ , існує *індивідуальна функція розподілу ймовірності, або індивідуальна функція корисності*  $U_{\text{інд}}$ . У такому випадку корисність від вибору (наприклад, лотереї) можна представити у вигляді:

$$U_{\text{інд}} = \sum_{i=1}^n P(x_i) \cdot U(x_i) \quad (3.42)$$

Беззаперечною перевагою теорії суб'єктивної очікуваної корисності є те, що різні індивіди можуть робити різний вибір серед ідентичних альтернатив керуючись різними значеннями індивідуальної функції розподілу ймовірності  $P(x_i)$ .

Неважко помітити, що функціонал моделі Севіджа є практично ідентичним лінійному функціоналу корисності фон Неймана-Моргенштерна, а при  $P(x_i) = p_i$  теорія суб'єктивної очікуваної корисності редукується до теорії очікуваної корисності (від лат. *reducere* – перетворення в напрямі спрощення).

**ДВ→** З часом викристалізувалися проблеми, пов'язані з концепцією Севіджем, які впливають із факту заміни об'єктивних імовірностей суб'єктивними. Стало ясно, що з невизначеністю не можна працювати так само, як з ризиком, замінивши об'єктивні ймовірності суб'єктивними.



Емпіричні дані отримані французьким економістом Моріс Алле та опубліковані в 1952 р. й отримали назву "*парадокс Алле*".

**Моріс Алле (1911-2010)** – французький економіст, лауреат Нобелівської премії з економіки (1988) “за внесок в теорію ринків і ефективного використання ресурсів”.

Суть парадоксу Алле зводяться до однієї модифікованої та максимально прозорої граничної ситуації: “Мається дві пачки: 99 і 100 однодоларових купюр. Пропонується респондентам вибрати із альтернативи: а) гарантовано 99 доларів з імовірністю 100% або 100 доларів з імовірністю 99%”.

Як показали численні експерименти, переважна більшість людей вважає за краще гарантію (а). Насправді ж, середні величини виграшу в обох випадках рівні 99 доларів і в точності рівні один одному:  $\$ 99 \times 100\% = \$ 99 = \$ 99 = \$ 100 \times 99\%$ .

Американський економіст Даніел Еллсберг (нар. в 1931р.) провів у 1961 р. уявний експеримент, результатом якого був сформульований так званий "*парадокс Еллсберга*", який базується на *ефекті неоднозначності* – це когнітивне спотворення, в якому прийняття рішення страждає через нестачу інформації або неоднозначності.

Результати експерименту показали, що більшість індивідів діють всупереч положенням теорії суб'єктивної очікуваної корисності. Причому, люди прагнуть вибрати рішення, для якого ймовірність успішного результату відома, в порівнянні з рішенням, коли ймовірність успішного результату не відома. Це означає, що для багатьох людей ризик (відома ймовірність) і невизначеність (невідома ймовірність) – суть різні поняття. ◀

### 3.5. Задачі прийняття рішення в умовах нестохастичної невизначеності

Нестохастична невизначеність: природна та поведінкова. Типи і види поведінки людини. Поведінкова невизначеність. Невизначені фактори. Суть нестохастичних факторів. Нестохастичні фактори, які викликають цільову невизначеність. Праці Л. Заде. Нечітка логіка та її значення. Теорема FAT. Характеристична функція. Універсальна множина. Поняття функції належності.

Властивості функції належності. Означення нечіткої множини. Приклади застосування нечіткої множини. Багатозначна нечітка логіка. Поняття нечіткої змінної та лінгвістичної змінної. Терм-множина. Сутність невизначеності нестохастичного характеру. Сутність фазі-логіки. Фазі-керування в САК (суть, приклади).

---

Невизначеність, яка не пов'язана зі стохастичною природою процесів, називається **нестохастичною невизначеністю**. Умовно вона підрозділяється на природну та поведінкову невизначеності.

**Природна невизначеність** пов'язана з недостатчею інформації про об'єкти ПГ. При прийнятті рішення для досягнення бажаного результату виходять з пропущення, що природа нейтральна по відношенню до дій людини, тобто раціональним буде "...припущення про рівноможливість всіх розглянутих станів природи, тобто рівноможливості варіантів протидії при грі з природою" [128, с. 210].

**Поведінкова невизначеність** пов'язана з діяльністю людини. Як зазначає відомий російський психолог К. К. Платонов (1906-1984), поведінка – "...зовнішній прояв його діяльності" [163, с.94].

**Поведінку** (*behavior*) можна визначити як цілісну активність людини (психічну і рухову), пов'язану зі взаємодією з довкіллям та іншими людьми, спрямовану на задоволення різноманітних потреб (фізіологічних, соціальних, духовних і т. ін.). У загальному випадку, **поведінка** – будь-яка послідовність станів системи.

Розглянемо класифікацію типів поведінки, яку запропонував Д.О. Поспелов [90]. Як видно з рис. 3.15, поведінка поділяється на два класи (нормативна та ситуаційна), які розподіляються на шість типів та два види. Редукція тільки до двох видів пояснюється тим, що мислення людини, як компонент свідомості, відображає зовнішній світ у формі раціональної та інтуїтивної поведінки та прийняття рішень.

Перевага інтуїтивної (ірраціональної) технології прийняття управлінських рішень над раціональною полягає у швидкості прийняття рішень, а недолік – у великій ймовірності помилки. З другого боку, раціональне мислення здійснюється за наявності понять, суджень, умовиводів, логіки, цілей і взаємозв'язків.

Розкриємо сутність поведінки людини та штучного інтелекту.

1. **Нормативна поведінка** визначається набором приписів, характерних для того суспільства, до якого належить індивід, який здійснює акт поведінки. Сучасний рівень розвитку інтелектуальних систем достатній для відтворення ними інтелектуальної поведінки.
  - 1.1. **Ритуальна поведінка** (від лат. *ritualis* – обрядовий) – стереотипна поведінка, яка зводиться до взаємодії між людьми в певних стандартних ситуаціях.
  - 1.2. **Наслідувальна поведінка** – це копіювання поведінки інших людей.
  - 1.3. **Рольова поведінка** – це поведінка соціалізованої людини, яка опосередкована певним арсеналом ролей (від франц. *role* – *перелік*): соціальних, професійних, психологічних, сімейних, статевих тощо.
2. **Ситуаційна поведінка** – підстроювання моделі поведінки людини під кожну конкретну ситуацію з метою максимально вигідно перетворити її для себе. Характер поведінки (діяльності) визначається тою реальністю, в якій вона

виникає. Нині дослідники в сфері штучного інтелекту створили описи, які придатні для формалізації відносно простих сценаріїв ситуаційної поведінки правильних за формою об'єктів ПГ.

2.1. **Аналітична поведінка** характеризується усвідомленням цілей і плану їх досягнення. Вона повністю знаходиться під контролем свідомості.

2.2. **Розважальна поведінка** виникає тоді, коли цілі поведінки, які в даному випадку можуть бути усвідомленими і неусвідомленими, і дії, спрямовані на досягнення цих цілей, не завдають ніякої шкоди іншим індивідам, приносячи суб'єкту вираш.

2.3. **Ігрова поведінка** пов'язана з тим, що в процесі досягнення своїх цілей суб'єкт заподіює певний шкоди оточуючим.

Зазначимо, що наслідувальна та рольова поведінка може бути як **раціональна** (з усвідомленими цілями), так й **інтуїтивна** (з неусвідомленими цілями).

Окремо треба зауважити, що **поведінкова невизначеність** пов'язана з поведінкою людини, зокрема з поведінкою ОПР. Ця невизначеність виникає при грі з людиною, яка розглядається як супротивник. Звично поведінка супротивника (як зовнішнього фактора) є найкращим для нього і найгіршим для ОПР (для нас).

Концепції поведінки існують та вдосконалюються в психології, соціології, педагогії, теорії штучного інтелекту та в теорії ігор. Зокрема, в теорії ігор розглядається **модель ідеального гравця**, який в будь-якій ігровій ситуації приймає найкраще рішення. Маючи таку модель здійснюється пошук алгоритму розв'язання гри – формалізації поведінки гравців. Основою такої формалізації є гіпотеза про раціональність гравців.

**Раціональний гравець** – це реальний гравець, який на основі всіх своїх знань про гру, дискурсивний і креативний досвід, уміння та навички, здатний “вижати” з гри максимум можливого, прийнявши оптимальне рішення. З точки зору науки, формалізації поведінки гравця полягає в максимізації своєї очікуваної корисності на основі всієї інформації, яка в нього знаходиться.

Фактори або / і чинники, пов'язані з поведінковою та природною невизначеністю є **невизначені фактори (чинники)**. Інформація про вказані фактори недостатні для розв'язання поставленої задачі. Граничним станом невизначеності є повна відсутність інформації про фактор (повне незнання). Окрім невизначених факторів (чинників) є нестохастичні фактори, які викликають **цільову невизначеність**.

**Нестохастичні фактори** – фактори, які є протилежні до стохастичних факторів. У цьому випадку для дослідника невідомий закон розподілу ймовірностей і його числові характеристики (математичне сподівання, дисперсія, мода тощо).

Для опису факторів нестохастичної природи часто використовують апарат теорії нечітких множин або / і нечіткої логіки.

**Нечітка логіка (fuzzy logic)** як наука була започаткована видатним американським вченим Лотфі А. Заде (Lotfi A. Zadeh).

**ДВ→** У 1965 році професором Лотфі Заде була створена теорія нечітких множин. Однак спочатку ця теорія була сприйнята скептично як в Сполучених Штатах, так і з боку наукової громадськості світу. Це відповідає афоризму Ернеста Резерфорда про відношення наукової спільноти до нової наукової праці та відкриття: “Три стадії визнання наукової істини: перша – “це абсурд”, друга – “в цьому щось є”, третя – “це загальновідомо”.

Основною причиною початкового невизнання теорії нечіткої логіки Л. Заде було те, що вона руйнувала логіку Аристотеля, яка протягом століть жила в свідомості людей.

Формальна логіка, яка створена великим грецьким філософом Аристотелем (384-322 рр. до н.е.), за формою абстрактного мислення є біполярна, тобто "...базується на принципі двозначності, відповідно до якого будь-яке висловлювання є або істинним, або хибним" [101, с. 306].

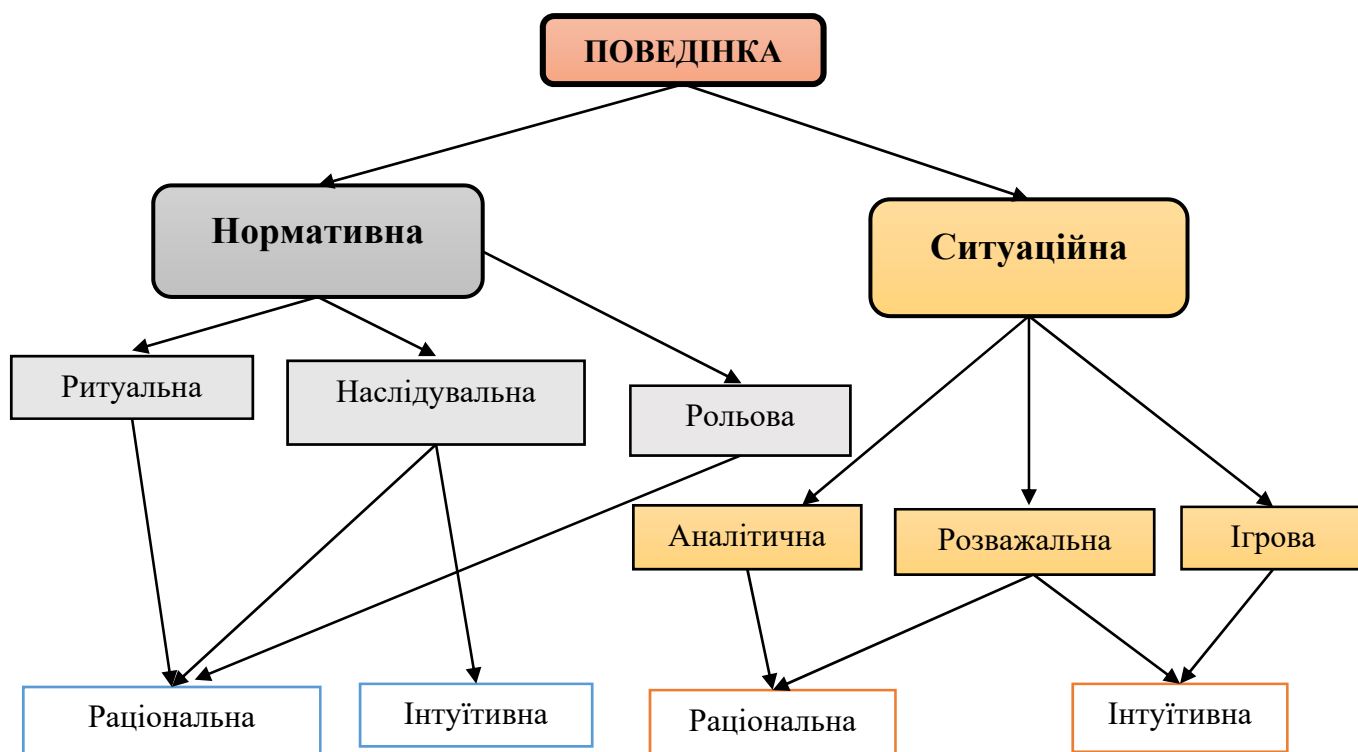


Рис. 3.15. Класифікація типів поведінки людини

Двозначна логіка неявно "пронизувала" доказовий інструментарій класичної алгебри, започаткованої видатним середньовічним персидським математиком, астрономом, географом і істориком Аль-Хорезмі (783-850).

Л. Заде створив нечітку алгебру, ядром якої була теорія нечітких (розпливчастих) множин. Тобто він зумів створити математику безмежності, відкрити її різноманіття на відміну від традиційного біполярного бачення світу (чорне-біле, один-нуль, позитивне-негативне, правда чи неправда тощо).

Теорія нечіткої логіки Л. Заде відкрила нову епоху в історії розвитку математики, кібернетики, інформатики та обчислювальної техніки. Ця теорія знайшла широке застосування у науці, техніці і виробничих технологіях, в тисячах систем і пристроїв, починаючи з пральної машини до автоматичного водіння. Таким чином, оперативна можливість теорії перевищила її абстрактну суть.

На відміну від булевої алгебри, у котрій існує лише дві величини (0 та 1, істина чи неправда, істина чи хибність, true or false) у нечіткій логіці існують також перехідні величини (стани). Англійському терміну "fuzzy sets" ("нечіткі множини") запропонованому А.Заде, відповідають терміни "нечіткі", "розмиті", "розпливчасті". До основних понять нечіткої логіки відносяться: нечіткі дані, нечіткі множини, нечіткі числа, нечіткі міри, нечіткий інтеграл, нечіткі критерії, нечіткі події, нечіткі інструкції, нечіткі алгоритми, фазифікація / дефазифікація, фазі-операція, теорія м'яких обчислень (англ. soft computing), теорія вербальних обчислень і уявлень (англ. computing with words and perceptions).

В основі нечіткої логіки лежить теорія нечітких множин, викладена в серії робіт Л. Заде 1965-1973 років, які започатковані працею “*Fuzzy sets as a basis for a theory of possibility*” (“*Нечіткі множини як основа для теорії можливості*”) [234].



У 1970 році Беллман спільно з Заде розробили теорію прийняття рішень в нечітких умовах [16].

**Річард Ернст Беллман** (1920-1984) – американський математик, один з провідних фахівців в області математики та обчислювальної техніки.



Спочатку наукова спільнота не бачила в новій теорії практичного застосування та зводила нечіткість до проблем теорії ймовірностей. Проте у 1975 році І. Мамдані спроектував перший функціонуючий на основі алгебри Заде контролер, що керує паровою турбіною. У середині 80-х років був створений керуючий мікропроцесор (нечіткий регулятор) на основі нечіткої логіки (fuzzy logic), здатний автоматично вирішувати відому задачу “про собаку, яка наздоганяє kota”. Нечіткі експертні системи для підтримки прийняття рішень знайшли широке застосування в техніці, виробничій технології, медицині та економіці. У кінці 90-х років з’являються пакети програм для побудови нечітких експертних систем, а також нечіткі нейронні мережі. Нині галузь застосування нечіткої логіки помітно розширилася: автомобільна, аерокосмічна, транспортна промисловість, галузь виробів побутової техніки, сфера фінансів, аналізу та прийняття управлінських рішень, **Л. Заде** воєнна справа та багато інших.



Крім того, чималу роль у розвитку нечіткої логіки зіграло доведення Бартом Коско знаменитої **теорему FAT** (*Fuzzy Approximation Theorem*), в якій стверджувалося, що *будь-яку математичну систему можна апроксимувати системою на основі нечіткої логіки* [236; 237].

**Барт Ендрю Коско** (народ. в 1960 р.) – письменник, професор електротехніки в Південно-Каліфорнійському Університеті (ОСК). Він відомий як учений і популяризатор нечіткої логіки, нейронних мереж, а також як автор декількох книг за темами, пов’язаними з

штучним інтелектом. ◀

**П→** Математична теорія нечітких множин і нечітка логіка є узагальненнями класичної теорії множин і класичної формальної логіки. Основною причиною появи нової теорії стала наявність нечітких і наближених міркувань при описі людиною речей, предметів, процесів, явищ, ситуацій тощо.

Нечітка множина оперує поняттям “**характеристична функція**”. У класичній теорії множин характеристичною функцією (індикаторною функцією, індикатором) підмножини  $A \subseteq X$  називається функція  $\Psi(x)$ , яка визначена на множині  $X$ , і визначає належність елемента  $x \in X$  підмножині  $A$ .

У теорії ймовірностей характеристична функція використовується в іншому значенні, а саме: під характеристичною функцією  $\Psi(x)$  неперервної випадкової величини  $X$  розуміють математичне сподівання  $M$  випадкової величини  $e^{itX}$ , тобто

$$\Psi(t) = M\left(e^{itX}\right) \quad (3.43)$$

де  $t$  – дійсний параметр.

Якщо  $F(x)$  – функція розподілу неперервної випадкової величини  $X$ , то

$$\Psi(t) = \int_{-\infty}^{\infty} e^{itx} dF(x) \quad (3.44)$$

У випадку дискретного розподілу маємо ряд Фур'є з коефіцієнтами ймовірності  $p_k$ , тобто

$$\Psi(t) = \sum_{k=0}^{\infty} e^{itx_k} \cdot p_k \quad (3.45)$$

У випадку неперервного розподілу з щільністю  $f(x)$  маємо перетворення Фур'є

$$\Psi(t) = \int_{-\infty}^{\infty} e^{itx} f(x) dx \quad (3.46)$$

Для переходу до елементів теорії нечітких множин уведемо декілька понять.

**Універсальна множина (універсум)** – в теорії множин така єдина множина  $U$ , для якої перетин цієї множини з будь-якою множиною  $X$  збігається з цією множиною  $X$ , тобто:  $\forall X: X \cap U = X$ .

Таким чином, будь-яка множина  $X$  повністю міститься в універсальній множині  $U$ . Для цієї множини  $X$  справедливо:  $X \cup U = U$ .

Очевидно, будь-який об'єкт  $x$ , який входить до класу  $X$ , незалежно від його природи, є елементом універсальної множини, тобто:  $\forall X: x \in U$ .

Будь-яка множина  $M$  є підмножиною універсальної множини, тобто:  $\forall M: M \subseteq U$ .

У теорії нечітких множин характеристична функція (індикатор) підмножини  $M \subseteq U$  називається **функцією належності (membership function)**, яка позначається так  $\mu_M(x)$  [не плутайте з позначенням, яке ми ввели для математичного сподівання].

Функція належності визначається так:

$$\mu_M(x) = \begin{cases} 1, & x \in M \\ 0, & x \notin M \end{cases} \quad (3.47)$$

Значення функції належності  $\mu_M(x)$  вказують, чи є  $x \in U$  елементом множини  $M$ .

Головна відмінність теорії нечітких множин від класичної теорії чітких множин полягає в тому, що якщо для чітких множин результатом обчислення характеристичної функції можуть бути тільки два значення – 0 або 1, то для нечітких множин це кількість нескінченна, але обмежена діапазоном від нуля до одиниці.

Більш строгі визначення: нечіткою множиною  $M$  називається сукупність пар

$$M = \{ x, \mu_M(x) \mid x \in U \}, \quad (3.48)$$

де  $\mu_M(x)$  – функція належності Л. Заде.

Інше позначення нечіткої множини таке

$$M = \{ \langle \mu_M(x) \mid x \rangle \}. \quad (3.49)$$



Функція належності Л. Заде являє собою деяку суб'єктивну міру відповідності елемента  $x$  нечіткій множині  $M$ ,  $M \subseteq U$ .

Іншими словами: **функція належності Л.Заде**  $\mu_M(x)$  – ступінь упевненості в належності елемента  $x$  універсальної множини  $U$ , яка ставить у відповідність кожному із елементів  $x \in U$  деяке дійсне число із інтервалу  $[0, 1]$ .

Вказана функція визначається у формі нечіткого імплікативного відображення:

$$\mu_M(x): U \Rightarrow [0, 1], \text{ де } 0 \leq \mu_M(x) \leq 1, \quad (3.50)$$

де знак  $\Rightarrow$  є знаком імплікації (“якщо ..., то”).

При цьому  $\mu_M(x) = 1$  для деякого  $x \in U$  означає, що елемент  $x$  достовірно (абсолютно вірогідно) належить нечіткій множині  $M = \{ x, \mu_M(x) \}$ , а значення  $\mu_M(x) = 0$  – елемент  $x$  точно не належить нечіткій множині  $M$ .

Множину  $M$  можна подати так:

$$M = \{ (x_1, \mu_M(x_1)), (x_2, \mu_M(x_2)), \dots, (x_n, \mu_M(x_n)) \}, \quad (3.51)$$

де  $n$  – число елементів множини  $M$  ( $M \subseteq U$ ).

Наприклад, для  $n = 6$  маємо:  $M = \{(x_1, 0), (x_2, 0,1), (x_3,0,5), (x_4,0,7), (x_5,0,9), (x_6,1)\}$ .

Отриманий вираз означає, що елемент  $x_1$  не належить множині  $M$ , елемент  $x_2$  належить множині  $M$  в малому ступені, елемент  $x_3$  наполовину належить множині  $M$ , елемент  $x_4$  більше належить множині  $M$ , аніж не належить, елемент  $x_5$  в значній мірі належить множині  $M$ , елемент  $x_6$  достовірно є елементом множини  $M$ .

**Пр. 1.➔** Розглянемо дві множини: нечітку множину  $A$  “від 5 до 8” і нечітку множину  $B$  “близько 4”. Вказані множини задані своїми функціями належності (рис. 3.16).

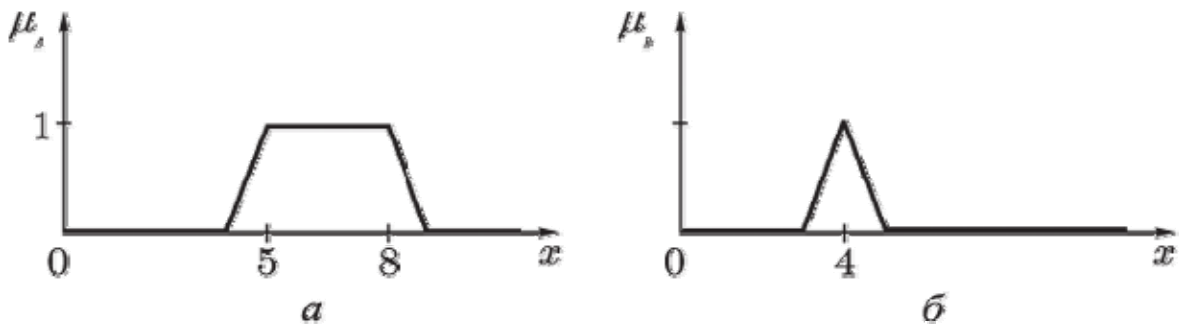


Рис. 3.16. Графіки функцій належності для нечітких множин  $A$  і  $B$  ◀

**SE➔** Нехай  $U$  – універсальна множина,  $x$  – елемент  $x \in U$ , а  $\xi$  – певна властивість. Нечітка множина  $M$  ( $M \subseteq U$ ) відрізняється від звичайної множини тим, що для елементів  $x \in U$  немає однозначної відповіді “ні” або “так” відносно властивості  $\xi$ .

Якщо нечітка множина  $M$  набуває тільки граничних значень  $M = A = 0$ ;  $M = B = 1$  (тобто значень континуальної множини  $\{0; 1\}$ ), то нечітка множина  $M$  може розглядатися як чітка множина (характеристична функція  $\mu_M(x)$  приймає значення 1, якщо  $x$  задовольняє властивості  $\xi$ , і 0 – в іншому випадку).



Отже, чітку множину  $\{0; 1\}$  можна розглядати як граничний випадок нечіткої множини  $M$ , функція належності якої  $\mu_M(x)$  набуває лише бінарних значень (бінарний – двійковий, що складається з двох компонентів).

Та роль, яку в класичній теорії множин відіграє двозначна булева логіка, у теорії нечітких множин відіграє *багатозначна нечітка логіка*, в якій припущення про належність об'єкта  $\mathfrak{N}$  чи властивості об'єкта  $\xi$  нечіткій множині  $M$  можуть приймати дійсні значення в інтервалі від 0 до 1. ◀

Розглянемо приклад, наведений в [52], у наших позначеннях та інтерпретації.

**Пр. 2.→** Обмірковується поняття, яке визначається словом “швидкий” (*fast*). Як об'єкт береться автомобіль (*car*), який має швидкість (*speed*), яка перевершує (*top*) яесьь значення. У даному випадку для класичної множини  $A$  “швидких автомобілів, які мають швидкість більше 150 км за год” маємо характеристичну функцію:

$$f(x) = \begin{cases} \text{істина, якщо } \text{car}(x) \text{ top\_speed}(x) > 150 \\ \text{хибність в супротивному випадку.} \end{cases}$$

**SE→** Множина, яка визначена такою характеристичною функцією, подається формулою:  $X \in \text{CAR|TOP-SPEED}(X) > 150$ . Інтуїтивно здається природним, що для множини (категорії)  $M$  “швидких” автомобілів окремий автомобіль (об'єкт) більш-менш підходить. Для цього введемо другу характеристичну функцію  $\mu_M(x)$ , яка характеризує ступінь належності об'єктів  $x$  множині  $M$ . Ця функція визначена на замкненому інтервалі  $[0, 1]$ .

Якщо для об'єкта  $x$  функція  $\mu_M(x) = 1$ , то об'єкт певно (точно) є членом множини  $M$ , якщо  $\mu_M(x) = 0$ , то об'єкт певно не являється членом множини  $M$ . Всі проміжні значення означають ступінь членства об'єкта  $x$  в даній множині, хоча границі цієї множини розмиті.

Таким чином, членами множини  $M$  стають пари (об'єкт, ступінь), наприклад:  $M = \text{FAST-CAR} = \{(\text{Porche}, 0,9), (\text{BMW}, 0,5), (\text{Жигулі}, 0,1)\}$ . Смысл виразу  $\text{FAST-CAR}(\text{Porche}) = 0,9$  полягає в тому, що ми тільки на 90% впевнені в належності автомобіля Порше до швидких автомобілів із-за невизначеності самого поняття “швидкий автомобіль”. Цілком резонно припустити, що існує деяка впевненість в тому, що *Porche* не належить до істинно швидких автомобілів, наприклад, він не може зрівнюватися з автомобілями, які приймають участь в гонках «Формула – 1». ◀

Нечітка змінна визначається так:

$$\langle z, Z, A \rangle, \tag{3.52}$$

де:  $z$  – найменування змінної;  $Z = \{z\}$  – область визначення змінної (набір можливих значень  $z$ );  $A = \{\langle \mu_A(z) \mid z \rangle\}$  – нечітка множина, що описує обмеження на можливі значення змінної  $z$  (семантику).

*Нечітка змінна – це теж саме, що і нечітке число, тільки з додаванням імені, яким формалізується поняття, що описується цим числом.*

Психологи встановили, що в людському мозку майже вся числова інформація вербально перекодується і зберігається у вигляді слів. Для людини зручніше задавати значення змінної не числами, а словами.

Щодня ми приймаємо рішення на основі лінгвістичної інформації типу: “дуже висока температура”; “утомлива поїздка”; “швидка відповідь”; “красивий букет”; “гармонійний смак” і тому подібне.

Інше означення: *Лінгвістичною змінною називається змінна  $L$ , що приймає значення з множини слів або словосполучень деякої природної мови.*

Лінгвістична змінна використовується для того, щоб дати словесний опис деякому нечіткому числу, отриманому в результаті деяких операцій.

Наприклад, лінгвістична змінна “швидкість автомобіля” може набувати таких лінгвістичних оцінок (значень): “низька”, “середня”, “висока” і “дуже висока”. Сукупність вказаних оцінок являють собою **терм-множину**.

**П**→ Зазначимо, що **терм-множина** – це множина всіх можливих значень лінгвістичної змінної  $L$ , яка відіграє важливу роль в нечіткому логічному виведенні та в ухваленні рішень на основі наближених міркувань.

**Терм** – будь-який елемент терм-множини. У теорії нечітких множин терм формалізується нечіткою множиною за допомогою функції належності.

Очевидно, **нечіткий терм** – це нечітка множина, яка має властивість, якій відповідає певне поняття.

Формально лінгвістична змінна  $L$  описується таким кортежем:

$$\langle x, T, U, P_{\text{синт.}}, P_{\text{сем.}} \rangle, \quad (3.53)$$

де:  $x$  – ім'я змінної;  $T$  – терм-множина, кожен елемент якої задається нечіткою множиною на універсальній множині  $U$ ;  $P_{\text{синт.}}$  – синтаксичні правила (часто у вигляді граматики), що породжують назву термів;  $P_{\text{сем.}}$  – семантичні правила, що задають функції належності нечітких термів, породжених синтаксичними правилами з  $P_{\text{синт.}}$ .

Зазначимо, що в класичній логіці є аналог поняття “лінгвістична змінна”  $L$  – це поняття “предметна змінна” – змінна, від якої залежить одномісний предикат  $P(x)$ . Елементи з області визначення предиката називаються **предметними константами**. Тоді, **традиційний терм** – логічне поняття, яке складається з предметної змінної і предметної постійної (конкретного значення аргументу). ◀

**Пр. 3.**→ Подати у вигляді нечіткої множини поняття “Чоловік середнього зросту” на універсальній множині  $U = \{155, 160, 165, 170, 175, 180, 185, 190\}$ .

**SE**→. Одне з можливих рішень виглядає так:  $A = (0 / 155, 0,1 / 160, 0,3 / 165, 0,8 / 170, 1 / 175, 1 / 180, 0,5 / 185, 0 / 190)$ . ◀

**Пр. 4.**→ Зобразити графічно можливі значення лінгвістичної змінної  $L$ , яка має назву “Товщина плоского виробу”.

**SE**→. Див. рис. 3.17. Із рисунка видно нечіткість (розмитість, розпливчастість) – це така властивість об'єкта ПГ (предмета, явища, процесу, ситуації тощо), при якому не виконується відношення еквівалентності: об'єкт одночасно може належати даному класу і не належати йому.

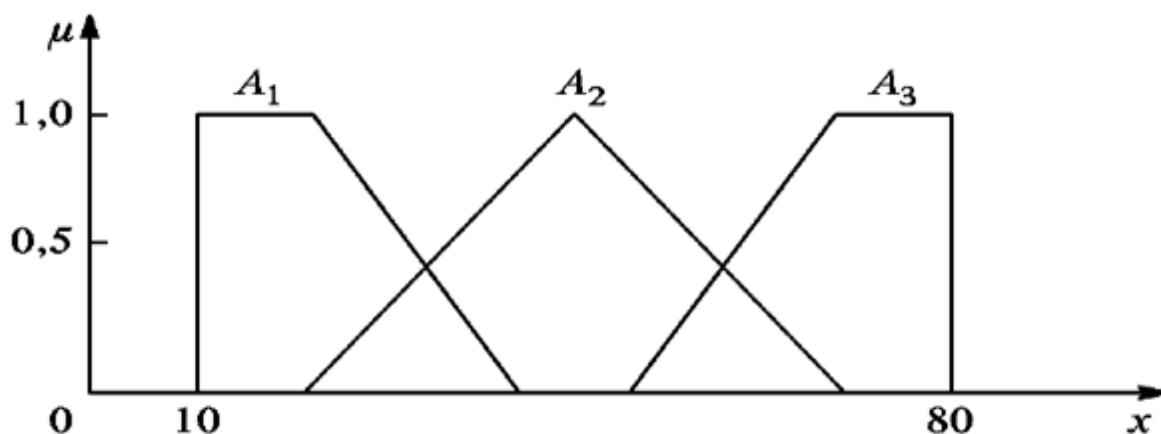


Рис. 3.17. Функції належності нечітких множин: «Мала товщина» –  $A_1$ , «Середня товщина» –  $A_2$ , «Велика товщина» –  $A_3$  ◀

Таким чином, функцію належності  $\mu_M(x)$ , як правило, вводять у вигляді лінгвістичної змінної  $L$ , тобто змінної, значення якої визначаються за термінологією природної мови.

Наприклад, поняття “складність”, застосовано до системи, є лінгвістичною змінною, яка може приймати значення “не складна”, “не дуже складна”, “складна”, “досить складна”, “дуже складна”. Цим вербальним значенням поставлені у відповідність деякі значення такого показника системи, як число зв’язків між елементами, які ми позначимо через  $x$ .

Експертне оцінювання [108] дозволяє побудувати графік функції належності лінгвістичної змінної  $L$  “складність системи” (рис. 3.18).

Нечітка підмножина  $M$  деякої універсальної множини  $U$  ( $M \subseteq U$ ) характеризується функцією  $\mu_M(x)$ , значення якої є ступінь належності елемента  $x$  підмножині  $M$ , тобто маємо  $0 \leq \mu_M(x) \leq 1$ . Відповідно до графіка (рис. 3.18), значення функції  $\mu_M(x) = 0,35$  визначає ступінь належності елемента  $x = 25$  до системи. Іншими словами, 25-ий зв’язок між елементами системи стверджує про “не дуже складну” систему на відміну від 60-и зв’язків, які формують “дуже складну” систему.

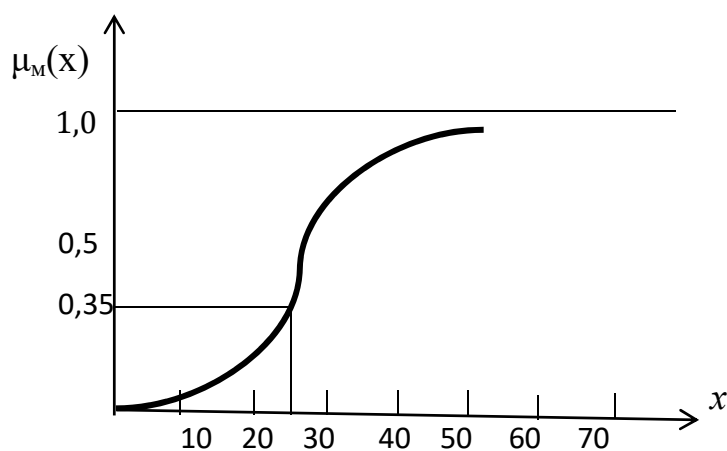


Рис. 3.18. Графік функції належності лінгвістичної змінної  $L$  “складність системи”

Розглянемо застосування нечітких множин для формалізації нечітких відношень між сутностями, зокрема між елементами знань. Вказані знання описують об’єкти ПГ та можуть бути слабкоструктурованими, неточними (неповними, невизначеними, розпливчастими), неявними, інтенціональними та персональними. Отже відношення між елементами знань є **нечіткими** та формалізуються нечіткими відношеннями.

Нехай  $U = U_1 \times U_2 \times \dots \times U_n$  – прямий добуток універсальних множин. Нечітке  $n$ -арне відношення визначається як нечітка підмножина  $R$  на  $U$ , що приймає свої значення на відрізку  $[0,1]$ . У випадку  $n = 2$  нечітке відношення  $R$  між двома множинами  $X = U_1$  і  $Y = U_2$  визначається як функція  $R: (X, Y) \rightarrow [0, 1]$ , що ставить у відповідність кожній парі елементів  $(x, y) \in X \times Y$  величину:

$$\mu_R(x, y) \in [0, 1], xRy, x \in X, y \in Y. \quad (3.54)$$

Нечіткими відношеннями оперують при проектуванні складних динамічних виробничих ситуацій, зокрема алгоритмів безпечної праці електромонтерів при аварійних режимах роботи електроустановок.

Автором ідентифікована та проаналізована множина основних неполадок, як значень лінгвістичної змінної  $L_1 \leftrightarrow Y = \{y_1, y_2, y_3, y_4\}$  у роботі електродвигуна при аварійних режимах і множина відповідних дій електромонтера, як значень лінгвістичної змінної  $L_2 \leftrightarrow X = \{x_1, x_2, x_3\}$  за умови високого ступеня стресових впливів, пов'язаних з відповідальністю за прийняття рішення (табл.3.3).

Вказані значення лінгвістичних змінних  $L_1, L_2$ , що формалізуються як відповідні нечіткі множини, оцінюються за вибраними критеріями  $K_1, K_2, \dots, K_d$ , де  $d = 7$ , які є показниками ефективності та якості проектних рішень.

Таблиця 3.3

Нечітке відношення аналізу безпечності виробничих ситуацій

R	$y_1$	$y_2$	$y_3$	$y_4$
$x_1$	1	0,7	0,3	0
$x_2$	0	0,5	1	0,2
$x_3$	0,4	1	0,6	0,1

Кореляція даних критеріїв дозволяє скористатися однією ранговою шкалою  $R = \{0,1; 0,2; \dots; 1,0\}$  оцінювання відносної інтенсивності якісних ознак. Кожне багатокритеріальне проектне рішення, задане у вигляді значень лінгвістичних змінних  $L_1, L_2$ , оцінюється за допомогою правила нечіткої імплікації  $X \times Y \rightarrow [0,1]$ , яке є наслідком виду *функції належності* (function of belonging)  $\mu_R(x, y)$ . При цьому, для деяких  $(x, y) \in X \times Y$  граничне числове значення функції належності, рівне  $\mu_R(x, y) = 1$ , означає, що елемент  $(x, y)$  абсолютно вірогідно належить нечіткій множині  $R = \{(x, y), \mu_R(x, y)\}$ , а числове значення  $\mu_R(x, y) = 0$  означає, що елемент  $(x, y)$  точно не належить нечіткій множині R.

### Контрольні запитання

№ з/п	Контрольні запитання	№ з/п	Контрольні запитання
1.	Що таке цільова функція системи ?	47.	Сформулювати означення нечіткої змінної та лінгвістичної змінної.
2.	Що таке критерій ?	48.	Що таке терм-множина ?
3.	Що таке альтернатива у прийнятті рішення ?	49.	Класифікація типів поведінки людини.
4.	Як можна зменшити множину альтернатив ?	50.	Сформулювати теорему ФАТ.
5.	У чому необхідність багатокритеріального вибору ?	51.	Що таке характеристична функція ?
6.	Чому існує множинність задач вибору?	52.	Як виразити складність системи через функцію належності ?

7.	Яка послідовність дій при вирішенні проблем унікального вибору?	53.	Що відноситься до ознак критерію мети ?
8.	Що таке оптимальна альтернатива ?	54.	Що таке операція в прийнятті рішення ?
9.	Які основні класи задач прийняття рішень ?	55.	Дати означення процедури і мети в рамках теорії операцій.
10.	Яка роль теорії прийняття рішень в теорії управління якістю ?	56.	Що таке простір стратегій ?
11.	У чому полягає задача прийняття рішення в умовах визначеності ?	57.	Яка дія є більш правильною: встановити правильну мету чи знайти кращу альтернативу ?
12.	Що таке вибір як максимізація критерію ?	58.	Охарактеризувати три типи проблем.
13.	Що таке вибір в умовах наявності декількох критеріїв ?	59.	Сформулювати критерій Ваальда.
14.	У чому полягає метод Парето ?	60.	Сформулювати правило максімакс.
15.	У чому суть раціональних, або ефективних рішень за Парето ?	61.	Сформулювати правило мінімакс (критерій Севіджа).
16.	Пояснити формалізацію однокритеріального вибору.	62.	Сформулювати правило Гурвиця.
17.	Пояснити формалізацію багатокритеріального вибору.	63.	Що таке метод «Вартість-ефективність» ?
18.	Дати означення ризику.	64.	Що таке відношення строгої переваги ? Навести приклади.
19.	Що таке стохастична невизначеність ?	65.	Що таке відношення слабкої (нестрокої) переваги ? Навести приклади.
20.	Пояснити граф стохастичних зв'язків альтернатив з результатами.	66.	Що таке відношення байдужості ? Навести приклади.
21.	У чому суть прийняття рішень в умовах ризику ?	67.	Сутність матриці та графу рефлексивного відношення.
22.	Які правила і критерії вибору альтернативної стратегії (рішення) в умовах стохастичності ?	68.	Сутність матриці та графу антирефлексивного відношення.
23.	Які види переваг на просторі економічних благ ?	69.	Сутність матриці та графу симетричного відношення.
24.	Які основні властивості відношень переваг ?	70.	Сутність матриці та графу асиметричного відношення.
25.	Що таке функція корисності ?	71.	Сутність матриці та графу антисиметричного відношення.
26.	Що таке ординалістський і кардиналістський підходи до моделювання поведінки і вибору ?	72.	Сутність матриці та графу транзитивного відношення.
27.	Сформулювати теорему Дебре.	73.	Сутність матриці та графу відношення еквівалентності.
28.	Дати характеристику та умови існування функції корисності.	74.	Чи можна побудувати граф нечіткого відношення ?
29.	Що таке неокласична система переваг ?	75.	Який зв'язок методу Парето і законом збереження ? Навести приклад.
30.	Що таке загальна корисність ?	76.	Дати означення «Структуризації проблем»
31.	Що таке споживча властивість товару і «ютилі»??	77.	Від чого залежить вид характеристичної функції ?
32.	Що таке загальна і гранична корисність ?	78.	Що таке універсальна множина ?
33.	Сформулювати закони Госсена.	79.	Що таке функція належності ?

34.	Що таке очікувана корисність Неймана-Моргенштерна ?	80.	Яка відміна чітких множин від нечітких ?
35.	Які існують типи функцій корисності Неймана-Моргенштерна ?	81.	Дати означення функції належності Заде.
36.	Що таке суб'єктивна корисність Л. Севіджа ?	82.	Які способи задання нечітких множин ?
37.	У чому суть парадоксів Алле і Еллсберга ?	83.	Що таке нечітка змінна ?
38.	Що таке нестохастична невизначеність ?	84.	Що таке предметна змінна ?
39.	Що таке поведінкова невизначеність ?	85.	Що таке лінгвістична змінна ?
40.	Яка суть нестохастичних факторів ?	86.	Що таке терм-множина ?
41.	Які нестохастичні фактори, які викликають цільову невизначеність ?	87.	Пояснити графік належності лінгвістичної змінної L «Складність системи».
42.	Що таке нечітка логіка ?	88.	Як формально задається нечітке відношення ?
43.	Що таке функції належності Л. Заде ?	89.	Навести приклади нечітких відношень.
44.	Дати означення нечіткої множини.	90.	Яка функція належності для нечіткого відношення ?
45.	Навести приклади застосування нечіткої множини.	91.	У чому достоїнство теорії нечітких відношень ?
46.	Що таке багатозначна нечітка логіка ?	92.	Які проблеми виникають при виборі форми функції належності ?



---

## Розділ 4. Цілепокладання, управління та керування в організаційних, ергатичних, організаційно-технічних і дидактичних системах

---



*“Наука – не предмет чистого мислення, а предмет мислення, який постійно залучається в практику і безперервно підкріплюється практикою. Ось чому наука не може вивчатися у відриві від техніки ”*

Джон Десмонд Бернал

---

### 4.1. Поняття про організаційні та ергатичні системи

---

Організаційна система (ОС). Гетерогенність та гомогенність ОС. Активні елементи. Зв'язки і відношення в ОС. Системоутворюючі зв'язки. Цілісність ОС. Склад і структура ОС. Функціонування та поведінка ОС. Класифікаційні ознаки ОС. Відношення еквівалентності в ОС. Класи еквівалентності. Фактор-множина. Граф відношень в множині X. Матриця відношень еквівалентності. Ергатичні системи (ЕС): суть, структура, властивості, особливості. Розвиток ЕС. Ергатичний організм. Сценарій: суть, зміст.

---

*Організаційна система (ОС), або організація* являє собою сукупність взаємопов'язаних і взаємодійних сутностей (об'єктів), організованих певним чином в єдине ціле. До вказаних сутностей відносяться персонал (людські ресурси), виробництво, інформація, фінанси, маркетинг, продукти діяльності. До організаційних систем відносяться компанії, підприємства, фірми, власне організації, установи і т. ін.

Організаційні системи ще коротко називають організаціями. За означенням Ч. Барнарда *“Організація – це група людей, діяльність яких свідомо координується для досягнення спільної мети або цілей”* [134, с. 31]. Враховуючи сучасну інформаційну епоху розвитку цивілізації, яка характеризується широким впровадженням комп'ютерної техніки та інтернет-технологіями, В.Г. Федоренко вважає, що *“організація – це складна соціально-технічна система, діяльність якої залежить від різноманітних чинників, що потрібно враховувати, обираючи конкретну програму дій ”* [158, с. 66]. Наявність процесів управління спричиняє до внутрішньої упорядкованості, узгодженості та цілеспрямованої взаємодії частин системи, в результаті якої досягається структурно-функціональний стан системи та сукупність процесів і дій, які відображають функціонування та розвиток системи.

Складні організаційні системи можуть бути *гомогенні* та *гетерогенні*. Перші системи складаються з достатньо однорідних і відносно слабо зв'язаних між собою елементів, а другі – із суттєво різних компонентів [205].

Зазначимо, що для простих природних систем, зокрема алмазу (мінералу), все навпаки: алмаз має найвищу серед мінералів твердість завдяки особливостям кристалічної кубічної структури вуглецю алотропної форми (причини, що викликають анізотропію твердості алмазу, так само як і прояв у нього досконалої спайності октаедра, криються в особливостях кристалічної структури). Прикладом гомогенних біологічних систем є органи і тканини, популяції. У свою чергу,

гетерогенні системи складаються з істотно різних компонентів, які мають чітку морфологію, функціонально сильно між собою взаємодіють і мають чітке спеціалізоване призначення. Прикладами можуть бути клітини тканин організму, власне сам організм, персонал організації, суспільство.

Належить підкреслити, що на відміну від поняття “структура”, поняттям “організація” позначаються не стани системи, а процеси, складність, упорядкованість і різноманітність. Для виникнення організації в складній системі необхідна активізація, що пов’язана з формуванням *істотних зв’язків елементів* та з упорядкованим розподілом зв’язків й елементів у просторі та часі.

На відміну від простих систем, в яких функції проявляються від утвореної структури, в організаційних системах все навпаки: наявні функціональні зв’язки є основою системоутворюючих зв’язків, які зберігають гнучку структуру, адаптуючи її для виконання визначених функцій та інтегрують різноякісні (але сумісні) елементи системи в певну цілісність.

Отже, *цілісність організаційної системи реалізується завдяки системоутворюючим зв’язкам, а рівень цілісності визначається ступенем інтеграції елементів системи.*

Основні елементи таких систем є активні (наприклад, працівники фірми), завдяки чому можлива цілеспрямована зміна структури системи в процесі її функціонування, що забезпечується узгодженою поведінкою елементів у конкретних умовах зовнішнього середовища і надсистеми.

Таким чином, головним системоутворюючим компонентом ОС є множина відносно однорідних (в біологічному сенсі) *активних елементів* (людей), які об’єднані загальними функціями при забезпеченні виконання загальних цілей розвитку системи.

Активні елементи розрізняються між собою своїми властивостями (характеристиками, якостями, параметрами). Кожний елемент може проявити притаманні йому властивості лише вступивши у взаємодію з іншими відповідними елементами (активними і пасивними). Наприклад, робітник-електрик проявляє свої професійні властивості тільки вступивши у взаємодію з працівниками бригади, електроматеріалами, інструментами та захисними засобами.

Як зазначає Н.М. Мартиненко, ті відношення, які реалізуються у процесі функціонування ОС (якщо елементи взаємодіють між собою й обмінюються продуктами своєї діяльності), переходять у *зв’язки*, а решта зберігаються як відношення. Наприклад, відношення між структурними підрозділами організації переходять у зв’язки, якщо вони обмінюються інформацією. Тому під *відношеннями* можна розуміти “... умови і способи реалізації елементами своїх властивостей” [131, с. 58].

Зазначимо, що відношення в організаційних системах є загальним системним поняттям, яке часто трансформується в особливу форму – *відносини* (стосунки, взаємини). Цей термін широко вживається в особистих зв’язках між людьми, в колективі, у суспільстві.

Фіксована сукупність елементів (*склад системи*), стійких зв’язків і відношень між елементами (*структура системи*), забезпечує незмінність (цілісність) системи



у процесі її функціонування. Первинною властивістю організаційних систем є їх цілісність.

*Цілісність системи означає, що всі її компоненти служать загальній меті та сприяють формуванню найкращих (оптимальних) результатів поведінки.*

Цілісність реалізується завдяки наявності в системі *системоутворюючих зв'язків* між різноякісними, проте сумісними активними елементами (це переважно функціональні зв'язки). *Рівень цілісності* визначається ступенем інтеграції елементів системи, а властивості системи не є адитивною сумою властивостей складових елементів.

ОС має гнучку структуру, причому, як вказує А.К. Айламазян, реалізується "...спрямована зміна структури системи, яка забезпечує узгоджену поведінку або функціонування системи, що визначається зовнішніми умовами" [3, с. 48]. Вказана структура реалізується зміною кількості елементів, а також зв'язків між ними, і як наслідок, зміною якості системи.

Звично, проста та найбільш розповсюджена організаційна система (організація) за складом є триплетна [158]:

- 1) наявність не менше двох людей, які вважають себе частиною цієї організованої групи;
- 2) наявність спільної мети;
- 3) наявність спільної діяльності членів групи для досягнення загальної мети або цілей.

На відміну від вище вказаного діяльнісного складу організації, можна розглянути управлінський склад:

- 1) керівник організації
  - 2) замісники керівника
  - 3) працівники організації – *об'єкт управління.*
- } – суб'єкти управління;

Незалежно від складу та структури будь-яка організація характеризується сукупністю взаємопов'язаних та взаємодіючих елементів, які утворюють цілісну систему, що функціонує та розвивається у відповідності з поставленими ендогенними (внутрішніми) цілями, а властивості цієї системи відмінні від властивостей складових елементів (підсистем).

Компоненти (елементи і підсистеми) організації формалізуються як *внутрішні ситуаційні змінні*, на відміну від зовнішнього середовища – *зовнішні змінні* (економічні, соціальні, політичні, метеорологічні тощо).

Система функціонує як єдине ціле в конкретних умовах зовнішнього середовища (надсистеми) в інтересах досягнення цілей, які по відношенні до системи є ендогенним фактором (внутрішнього походження). Склад організації та зв'язки між компонентами показаний на рис. 4.1.

Очевидно, що структура системи створюється при формуванні зв'язків між елементами, а властивості елементів перетворюються у *функції*, зв'язані з інтегративними якостями, які притаманні системі в цілому.

Головне призначення функцій системи та їх актуалізації, прояву в часі, – функціонування, – це відобразити властивості системи, які полягають в отриманні результатів, що приписані *метою* (призначенням) системи у визначених умовах.

Очевидно, **функціонування** – це реалізація (виконання) системою своїх функцій (прояв функцій у часі), тобто отримання результатів, визначених призначенням системи, а “...під **функцією** розуміється властивість, яка спричиняє до досягнення мети” [187, с. 22] (курсив мій. – МК).

Як підкреслюють Ю.Л. Єгоров і М.Х. Хасанов, “...головне призначення функції – сприяти збереженню структури і забезпечувати умови не тільки для відтворення системи, як цілої, але і для її розвитку” [76, с. 45].

Для організаційних систем **функція** є реалізована здатність системи та дія, що спрямована на задоволення потреб.

#### ЗОВНІШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ

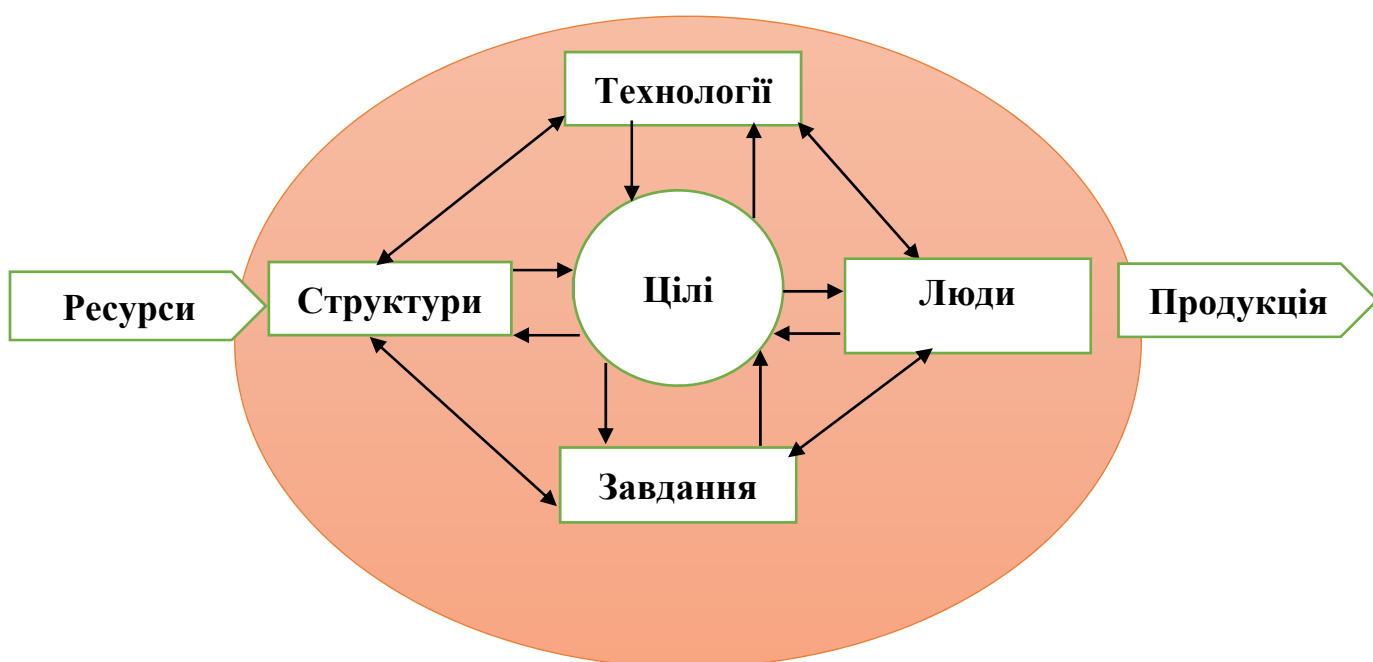


Рис. 4.1. Склад і взаємозв'язок елементів організації

В економічних і соціологічних дослідженнях поняття “структура” розглядається відносно зрідка. Це пов'язано з тим, що вище наведена трактовка структури, як незмінної (інваріантної) сутності застосовна у повному обсязі до статичних, не розвивальних об'єктів. Наприклад, конкретних об'єктів техніки, які знаходяться на етапі експлуатації.

Реальні ж ОС мають динамічні зв'язки, що змінюються з плином часу в процесі розвитку. Тому адекватним терміном в ОС вважається “організація”. Американський вчений Майкл Мескон поняття “організація” означає, як “...група людей, діяльність яких свідомо координується для досягнення загальної мети або цілей” [134, с. 31].

На відміну від поняття “структури”, поняття “**організація**” позначає не стан, а процеси, складність, упорядкованість і різноманітність. Цьому відповідає означення, яке запропоноване О.А. Молчановим: “**Організація системи** – процес

упорядкованого розташування множини елементів з врахуванням їх логічних зв'язків з метою здійснення певних функцій у складних системах” [142, с. 15].

**Структуру** організаційної системи зручно описувати графом, вершини якого відповідають її елементам, а ребра або дуги – зв'язки між ними.

Належить підкреслити, що виникнення організації системи пов'язано з актуалізацією (формуванням) істотних зв'язків елементів, упорядкованим розподілом зв'язків й елементів в просторі та часі. При формуванні зв'язків складається певна структура системи, а властивості елементів трансформуються в функції, пов'язані з **інтеграційними якістьми**, властивими системі в цілому.

Таким чином, в теорії менеджменту поняття “організація” (в сенсі “організаційна система”) є поняттям більш високого рангу, ніж поняття “структура” і “функція” тому, що воно визначає сукупність структури системи і способів функціонування її підсистем й елементів.

У соціально-економічних системах проявляться функціональні (“жорсткі”) і кореляційні (“м'які”) зв'язки між компонентами. При цьому функція справляє зворотний вплив на структуру і становить основу існування діяльності, самоорганізації та розвитку. У таких системах системоутворююче відношення є не просто взаємодія, а функціональний (ролевий) зв'язок. Кожний активний елемент в такій системі виконує певну роль по відношенню до інших елементів і до системи в цілому.

**Поведінка системи** – сукупність дій даної системи і всіх її реакцій на зовнішні діяння (впливи): зміни, зростання, розвиток. Поведінка при моделюванні є функцією параметрів системи, її змінних стану та часу. Поведінці організаційних систем притаманний інтелектуальний вибір.

В аспекті динаміки, **поведінка системи** є сукупність дій даної системи і всіх її реакцій на зовнішні впливи (довкілля, інших організацій, державного апарату і т. д.), а **організація** трактується як “спрямована зміна структури системи, яка забезпечує узгоджену поведінку або функціонування системи, які визначаються зовнішніми умовами” [3, с. 48].

Наведемо класифікаційні ознаки організаційних систем (табл. 4.1).

Будь-яку організаційну систему можна формалізувати та представити у вигляді відношення еквівалентності. У третьому розділі ми дали означення вказаному відношенню. Більше заглибимося в сутність відношення еквівалентності (*equivalence binary relation*). Це відношення позначається символами: ( $\equiv$ ), або ( $\leftrightarrow$ ), або ( $\sim$ ).

Бінарне відношення  $R$  на множині  $X$  називається **відношенням еквівалентності** (або просто еквівалентністю), якщо воно рефлексивно, симетрично і транзитивно.

А саме, маємо такі складові відношення:

- 1. Рефлексивне.** Це означає, що будь-який елемент  $x \in X$  знаходиться у відношенні сам з собою  $\forall x \in X : xRx$ . Це відношення формалізує рівність, самодіяльність, самонавчання (індивідуалізоване навчання), самообслуговування тощо. Головна діагональ матриці такого відношення містить тільки одиниці. У рефлексивному відношенні всі вершини графу відношення мають петлі. Зазначимо, що якщо рефлексивне відношення

виконується між об'єктом і ним самим, то антирефлексивне відношення може виконуватися тільки для неспівпадаючих об'єктів, тому і не має ні однієї петлі.

Таблиця 4.1

Класифікаційні ознаки організаційних систем

№ з/п	Класифікаційна ознака	Класи систем
1	Субстанція	Соціальні системи
2	Ступінь складності	Складні системи
3	Розмір системи	Макросистема
4	Обмін зі зовнішнім середовищем (інформацією, речовиною, енергією)	Відкриті системи
5	Вплив системи на зовнішнє середовище	Активні системи
6	Характер переходу з одного стану в інший	Динамічні системи
7	Тип детермінуючих зв'язків у системі (зв'язки взаємодії, функціональні, синергетичні)	Функціональні та синергетичні системи
8	Взаємна обумовленість подій, що виникають в системі	Детерміновані, імовірнісні та нечіткі системи
9	Ступінь організованості	Високоорганізовані системи
10	Рівень організації	Самоорганізуючі, або синергетичні системи
11	Характер циркулюючих в системі сигналів	Дискретно-неперервні системи
12	Ступінь автономності	Високо автономні системи
13	Формування цілей	Нерефлексні системи
14	Керованість	Кібернетичні системи
15	Ступінь керованості	Самокеровані системи
16	Спосіб забезпечення стійкості	Адаптовані та самонавчальні системи
17	За характером поведінки	Цілеспрямовані системи
18	За кількістю функцій	Багатофункціональні системи
19	За характером розвитку	Саморозвиваючі системи
20	За математичним співвідношенням між вихідними і вхідними величинами	Нелінійні системи

**2. Симетричне.** Це означає, що при виконанні співвідношення  $x_i R x_j$  виконується і співвідношення  $x_j R x_i$ . Або  $\forall x, y \in X$  і якщо  $x R y$ , то  $y R x$ .

Геометрично це означає, що в графі симетричного відношення кожній дузі відповідає протилежно направлена дуга, тобто вершини графу зв'язані тільки парами протилежно направлених дуг, еквівалентних ребру.

**3. Транзитивне.** Це означає, що із  $x_i R x_j$  і  $x_j R x_k$  випливає, що  $x_i R x_k$ . Або  $\forall x, y, z \in X$  і якщо  $x R y$  і  $y R z$ , то  $x R z$ .

Приклади відношень еквівалентності: відношення подібності трикутників; відношення паралельності на безлічі прямих; відношення тотожності на множині виразів алгебри; відношення мати однаковий залишок при діленні на 7 на множині цілих чисел  $Z$ ; відношення вчитися в одній групі на множині студентів університету; відношення отримати одну і ту ж оцінку з математики на іспиті.

Нехай маємо організаційну структуру, яка визначається співвідношенням "студенти  $i$  та  $j$  навчальної групи, яка задана скінченною множиною  $X$ , навчаються

(консультуються) з викладачем  $k$ ". Тоді на множині  $X$  маємо, що  $i$  еквівалентно  $j$  ( $i \Leftrightarrow j, i \sim j$ ),  $j$  еквівалентно  $k$  ( $j \sim k$ ) і  $k$  еквівалентно  $i$  ( $k \sim i$ ).

Відношення еквівалентності на множині  $X$  зображується графом з петлями (рис. 4.2). Петлі відображають відношення індивідуума до самого себе. У випадку, коли студенти навчаються чи консультуються, то вказані відношення для них означають активізацію пам'яті, мислення, рефлексії (від лат. *reflexio* – звернення назад). Останнє є розумовий процес, спрямований на самопізнання, аналіз своїх емоцій, почуттів і станів, осмислення нового навчального матеріалу (у тому числі – критичне) шляхом виявлення змістових, логічних, семантичних і асоціативних зв'язків з раніше вивченими фактами, правилами, законами та теоріями, здатність контролювати спрямованість уваги та усвідомлювати власні думки.

Найважливіше значення еквівалентності полягає в тому, що це відношення визначає ознаку  $\zeta$ , яка допускає розбиття множини  $X$  на підмножини, так звані **класи еквівалентності**. Наприклад, твердження, яке є відношенням еквівалентності, "працювати на підприємстві  $X$ ", розбиває цю множину на підмножини працівників, які не перетинаються, а саме на підмножину керівних кадрів, підмножину інженерного корпусу, підмножину майстрів, підмножину робітників відповідних цехів, підмножину допоміжних працівників. Вказане відношення можна узагальнено назвати словосполученням "бути таким же". Окрім цього, якщо множина  $Y$  територіально характеризує певне підприємство, то класами еквівалентності будуть слугувати будівлі, цехи, склади тощо.

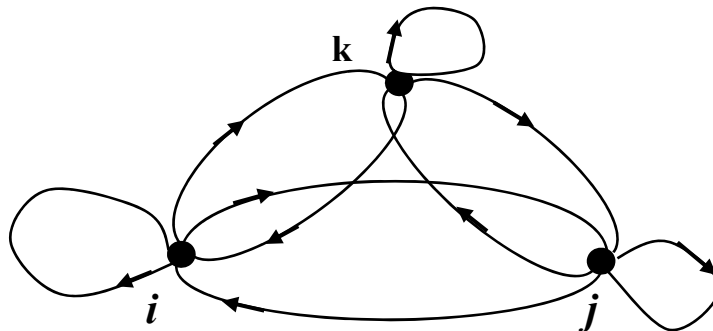


Рис. 4.2. Відношення еквівалентності "два студенти  $i, j$  навчаються (консультуються) з викладачем  $k$ "

Класом еквівалентності  $[x_0] \subset X$  елемента  $x_0$  називається підмножина елементів, яка еквівалентна  $x_0$ , тобто

$$[x_0] = \{x \in X \mid x \sim x_0\} \quad (4.1)$$

Очевидно, що елемент  $x_0 \in X$  є представником (еталоном) вказаного класу. Звідси, якщо  $x_1 \in [x_0]$ , то  $[x_0] = [x_1]$ .

**Фактор-множина** множини  $X$  по відношенню до бінарного відношення  $R$  називається множина  $X / R$  всіх перерізів (перетинів) відношення  $R$ . Іншими словами, це безліч всіх класів еквівалентності заданої множини  $X$  за визначеним

відношенням. Позначається  $X / \sim$ . Для класу еквівалентності елемента  $x_0$  використовуються наступні позначення:  $[x_0], x_0 | \sim, \overline{x_0}$ .

Якщо маємо  $n$  **перетинів**  $\{X_1, X_2, \dots, X_n\}$  множини  $X$ , то вони також зв'язані відношенням еквівалентності. Множина всіх класів розбиття множини  $X$ , яке визначається відношенням еквівалентності  $A$ , утворюють **фактор-множину**  $X / A$ . Кожний із класів розбиття визначається певним еталоном, який належить цьому класу.

**П**→ Розглянемо більш загальний випадок. Нехай бінарне відношення  $A$  є **відповідністю** двох множин  $X$  і  $Y$  ( $X \rightarrow Y$  – відношення від  $X$  до  $Y$ ) та задається деякою сукупністю упорядкованих пар  $(x, y)$ , які є елементами множини  $X \times Y$ , а саме  $(x, y) \in A$ , де  $A \subset X \times Y$ . Якщо  $x_i \in X$ , то **переріз** по  $x_i$  відношення  $A$  [позначається  $A(x_i)$ ] – це множина  $y \in Y$  таких, що  $(x, y) \in A$ . Звідси, **фактор-множиною** множини  $Y$  по відношенню до множини  $A$  [позначається  $Y/A$ ] – це множина всіх перерізів відношення  $A$ .

**Пр.1.**[182]→ Задано дві множини:  $X = \{x_1, x_2, x_3, x_4\}$  і  $Y = \{y_1, y_2, y_3\}$ . Побудувати фактор-множину.

**SE**→ Знайдемо прямий (декартовий) добуток множин відповідно рисунку, який зображає граф відношень від  $X$  до  $Y$  (біграф):

$$X \times Y = \{(x_1, y_1), (x_1, y_3), (x_2, y_1), (x_2, y_3), (x_2, y_4), (x_3, y_1), (x_3, y_2), (x_3, y_4), (x_4, y_3), (x_5, y_2), (x_5, y_4)\}.$$

Очевидно, що перерізи відношення  $A$  відповідають образам відображення. Напишемо під кожним елементом із  $X$  відповідний переріз відношення  $A$ . Як результат, елементи другого рядка утворюють фактор-множину  $Y/A$ :

$$\left( \begin{array}{ccccc} x_1 & x_2 & x_3 & x_4 & x_5 \\ \{y_1, y_3\} & \{y_1, y_3, y_4\} & \{y_1, y_2, y_4\} & \{y_3\} & \{y_2, y_4\} \end{array} \right).$$

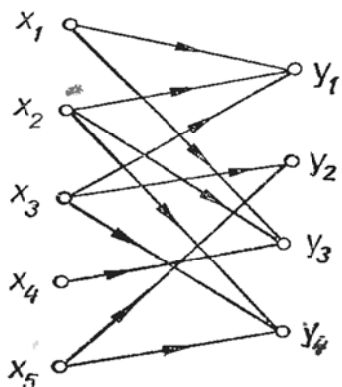


Рис. 4.3. Граф відношення від  $X$  до  $Y$ , тобто  $(x_i, y) \in A$

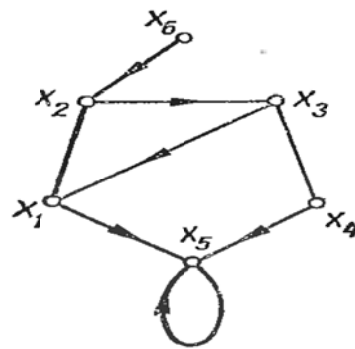


Рис. 4.4. Граф відношення в множині  $X$ , тобто  $(x_i, x_j) \in B$

Розглянемо відношення  $\nu$  в  $X$ , тобто співвідношення  $x_i \nu x_j$ , або  $(x_i, x_j) \in B$ . На рис. 4.4. показаний граф цього відношення. Зауважимо, що якщо має місце співвідношення  $x_i \nu x_j$  і  $x_j \nu x_i$ , то вершини графу зв'язуються двома протилежно направленими дугами, які можна умовно замінити ребром.

$$B = \{(x_1, x_2), (x_1, x_5), (x_2, x_1), (x_2, x_3), (x_3, x_1), (x_3, x_4), (x_4, x_3), (x_4, x_5), (x_5, x_5), (x_6, x_2)\}. \blacktriangleleft$$

Набута додаткова інформація дозволяє читачам знову повернутися до класів еквівалентності та зрозуміти їх суть.

Розглянемо організаційну систему, яка структурована на однорідні за призначенням (метою) підсистеми, які, в свою чергу, належать до певних класів еквівалентності. Власне самі класи еквівалентності не перетинаються. Елементи, які належать до деякого класу еквівалентності, попарно еквівалентні між собою. Це означає, що їх перерізи співпадають. Як наслідок, стовбці *матриці відношення еквівалентності* (МВЕ) для елементів одного класу однакові та мають одиниці у всіх рядках, які відповідають цим елементам. У стовбцях різних класів не буде одиниць в однакових рядках, так як класи еквівалентності не перетинаються. Розташуємо елементи множини так, щоб в кожному класі еквівалентності елементи були послідовні (стояли поруч). Тоді одиничні елементи МВЕ утворюють непересічні квадрати, діагоналі яких розташовуються за головною діагоналлю матриці. На рис. 4.5 показана МВЕ, що розбита на *класи еквівалентності*:  $X_1 = \{x_1, x_2, x_3\}$ ;  $X_2 = \{x_4\}$ ;  $X_3 = \{x_5, x_6, x_7, x_8\}$ .

У загальному випадку ергатичні системи – це складні ієрархічні системи керування, в яких людина може брати участь на будь-якому рівні. Ергатичними системами є, наприклад, керування засобом транспорту, екскаватором, диспетчерська служба шахт, металургійного заводу тощо.

Термін “*ергатична система*” був офіційно зафіксований в 1960р. на I Конгресі Міжнародної федерації з автоматичного керування (м. Москва) для позначення системи, яка має як функціональний компонент людину-оператора.

*Ергатична система* (ЕС, англ. ergo-system) – *система, складовим елементом якої є людина-оператор (або кілька людей-операторів)*. Нині вважають, що це система типу “*людина – машина – середовище*”.

Наприклад: “*водій – автомобіль – середовище*”, “*користувач – комп’ютер – середовище*”, “*оператор – технологічний процес – середовище*” і т. ін. Якість таких систем визначається якістю трьох названих складових: людини, машини і середовища.

Звично ЕС має дві “активні” складові:

1. Людина – підсистема нереклексивного типу, яка спроможна ставити та реалізовувати за допомогою машини цілі діяльності.
2. Машина – підсистема рефлексивного типу, яка не наділена властивістю “самостійності”, а виконує лише функції “підсилення” можливостей людини-оператора.

Зазначимо, що перші дві складові ЕС неминуче підпорядковується законам природи, тобто мають певні обмеження в аспекті діяльності та функціонування (закони збереження, закони класичної механіки, термодинаміки, електродинаміки тощо).

Разом з тим, машина не повинна обмежувати здатності людини по забезпеченню можливості виконувати, зокрема, виробничу діяльність за різними технологічними схемами.

Зв'язок “*людина – машина*” повинен забезпечити динамічну стійкість і незалежність *властивості активності* при різноманітних станах зовнішнього та внутрішнього середовища.

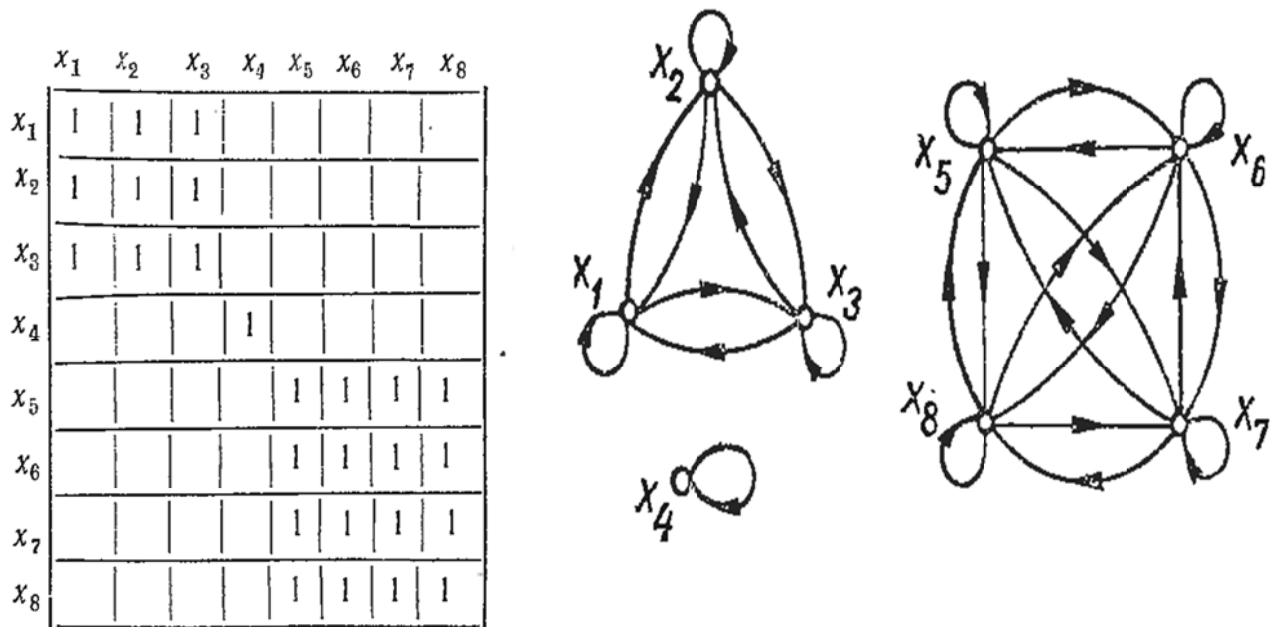


Рис. 4.5. Матриця відношення еквівалентності, трьом класам якого відповідає окрема частина повного направленого графу на множині її вершин

Для цього повинні бути узгоджені, з одного боку, змінні людини-оператора як живої істоти, а з іншого – змінні, які характеризують працездатний стан машини чи технологічної (енергетичної) установки (наприклад, напруга в мережі живлення, тиск масла у гальмівній системі, якість шин автомобіля і т. ін.).

Досить важливо визначити поріг реалізації властивостей функціонального гомеостазу і гомеостазу стану по відношенню до зовнішнього та внутрішнього середовища. Мається на увазі такий поріг, за якого людина в ЕС зберігала інформованість про стан вказаного середовища.

У досконалих ЕС, які насичені сучасною мікроелектронікою, комп'ютерами, сигнальними мікроконтролерами, фазі-логікою і т. ін., доля управління з боку людини-оператора зводиться до мінімуму за умови нормальних (робочих, паспортних) режимів функціонування.

При переході в аварійний режим, в якому вирішальну роль відіграє не надійність системи, а її живучість, роль та відповідальність людини-оператора істотно зростає. У цьому випадку, алгоритм дій людини повинен запобігти досягнення аварійного (катастрофічного) стану, в якому неабияку роль відіграє середовище.

Особливістю ЕС є те, що вони розвиваються. Кінець ХХ-го початок ХХІ століття характеризується стрімким розвитком електроніки, мікропроцесорної техніки, обчислювальної техніки, інформатики, телекомунікацій, теорії штучного інтелекту, електромеханотроніки, автоматики і кібернетики, робототехніки, створення нових матеріалів тощо.

Разом з тим, підвищується роль до людини-оператора, яка повинна постійно займатися самоосвітою з метою перманентного підвищення рівня професійної компетентності.



Перехід технічної складової ЕС із сфери доцільного керування в сферу цілеспрямованого керування вимагає реалізації принципу сумісності (адекватності) функціональних (діяльнісних) властивостей людини з функціональною технічною системою в аспектах цільової, критеріальної, операторської сумісності.

При цьому, як зазначає В.В. Павлов, виникають проблеми оптимізації способів і засобів передачі інформації, формування алгоритмів керування й управління, а також розв'язання завдань сумісності людини і нової машини (технічної системи) [159]:

- 1) ергономічна сумісність;
- 2) системна сумісність;
- 3) оптимально-цільова сумісність;
- 4) сумісність зі змінами середовища.

У майбутньому прогнозується активний і цілеспрямований синтез оптимального об'єднання людини з машиною в функціональні цілісні системи – активні ергатичні системи, або *ергамати* (найпростіші одноцільові моноергатичні системи, які складаються з однієї людини і однієї машини), а гранично – в ергатичні організми.

*Ергатичний організм – найвища ступінь складності, організмичної кооперації людей і біороботів, живого і неживого, діалектичної єдності цілого і частини, яка, безсумнівно, дасть нову, раніше невідому якість.*

Примітка. Читач може заглибитися в проблеми ергономіки, прочитавши фундаментальну працю: Кристеноев Ж., Мейстер Д., Фоули П. и др. (Gavriel Salvendy) Человеческий фактор. В 6-ти тт. Т. 1. Эргономика – комплексная научно-техническая дисциплина: Handbook of Human Factors / В. П. Зинченко, В. М. Мунипов. – М.: «Мир», 1991. – Т. 1. – 599 с.

Очевидно, що побудова моделей організаційних систем неможливіюється без процедури побудови *сценарію* – *опису певної ідеї, сукупності цілей, задач, ситуацій, процесів і засобів досягнення очікуваного результату.*

Переважно сценарій розробляється як проект. Зміст сценарію включає етапи, які висвітлені в табл. 4.2.

Таблиця 4.2

Класифікаційні ознаки організаційних систем [87]

Етап	Зміст сценарію	Результат проведення етапу: елемент опису
1.	Визначення понять “об’єкт” і “оточення”. Аналіз і класифікація входів і виходів об’єкта	Канонічна модель об’єкта. Перелік і класифікація входів і виходів об’єкта
2.	Вивчення структури об’єкта та його окремих елементів	Ієрархічна модель структури об’єкта. Модель внутрішньої структури.
3.	Рознесення вхідних впливів (діянь) за елементами об’єкта. Опис мікро-об’єктів – елементів та їх оточення	Канонічні моделі для кожного із елементів об’єкта, перелік параметрів, що характеризують окремі елементи об’єкта
4.	Виділення елементарних процесів, які відбуваються в досліджуваному об’єкті	Перелік елементарних процесів (моделей процесів, які доведеться побудувати)
5.	Опис взаємодії окремих елементів об’єкта між собою та з оточенням при можливих станах оточення	Функціональні моделі операцій, що виконуються об’єктом, інформаційні та процедурні моделі

---

## 4.2. Поняття про процеси цілепокладання в організаційних системах

---

Додаткові поняття про організаційні системи та їх властивості. Простір станів системи. Динамічність системи. Структурна надмірність. Міра організація системи (організованість). Означення організаційних систем. Цілеспрямовані системи. Цілепокладання. Поняття мети. Метод ієрархічної декомпозиції. Дерево сутностей. Види графів ієрархій. Ієрархія цілей. Дерево цілей. Цілепокладання.

---

У підрозділі 4.1 ми описали сутність, властивості та характеристики організаційних систем. Показали, що поняття “*організація*” більш високого рангу, аніж поняття “*структура*” і “*функція*” так, як воно визначає сукупність структури системи і способів функціонування її підсистем та елементів.

Поглибимо та розширимо уявлення про вказані системи з метою створення підґрунтя для висвітлення процесів цілепокладання.

Належить підкреслити, що на відміну від поняття “структура”, поняттям “організація” позначаються не стани системи, а процеси, складність, упорядкованість і різноманітність. Для виникнення організації в складній системі необхідна актуалізація, пов’язана з формуванням істотних зв’язків елементів та з упорядкованим розподілом зв’язків й елементів у просторі та часі.

На відміну від простих систем, в яких функції проявляються від утвореної структури, в організаційних системах все навпаки: наявні функціональні зв’язки є основою *системоутворюючих зв’язків*, які зберігають гнучку структуру, адаптуючи її для виконання визначених функцій та інтегрують різноякісні (але сумісні) елементи системи в певну цілісність. Отже, цілісність системи реалізується завдяки системоутворюючим зв’язкам, а рівень цілісності визначається ступенем інтеграції елементів системи.

Основні елементи таких систем є *активні* (наприклад, працівники фірми), завдяки чому можлива цілеспрямована зміна структури системи в процесі її функціонування, що забезпечується узгодженою поведінкою елементів у конкретних умовах зовнішнього середовища і надсистеми. Поведінці організаційних систем притаманний інтелектуальний вибір.

Очевидно, що структура системи створюється при формуванні зв’язків між елементами, а властивості елементів перетворюються у *функції*, зв’язані з інтегративними якостями, які притаманні системі в цілому. Головне призначення функцій системи та їх актуалізації, прояву в часі, – функціонування, – це відобразити властивості системи, які полягають в отриманні результатів, що приписані метою (призначенням) системи у визначених умовах.

Динамічність системи означає зміни структури і / або функцій системи в часі, що відповідає змінам (руху, розвитку) системи в просторі станів.

Отже, розглядаючи *динамічну систему* ми фіксуємо не тільки структурно-функціональний стан системи, внутрішню упорядкованість, узгодженість і взаємодію частин системи, але й сукупність процесів або дій, які ведуть до утворення і вдосконалення взаємозв’язків між частинами цілого. У цьому сенсі можна оперувати поняттям “*простір станів*” системи, який часто іменують як “*фазовий простір*”. Цим підкреслюється процесуальний характер організаційних

систем (організацій), повнота функціонального використання їх структур, функцій і властивостей.

Існують дві відмітні ознаки (критерії) організаційних систем (організацій). Перша, розглянута нами раніше, це **структурна надмірність**  $\mathcal{R}_{\text{відн.}}$  ( $\mathcal{R}_{\text{відн.}} = 1 - H / H_{\text{max}}$ ), яка кількісно пояснює емерджентні властивості системи.

Друга ознака називається **ступенем організації (організованістю)** та подається у вигляді різниці ентропій [124]:

$$O = H_{\text{max}} - H_t, \quad (4.2)$$

де  $O$  – абсолютна організація системи,  $H_{\text{max}}$  – максимальна ентропія повністю дезорганізованої системи (для безструктурної сукупності незв'язаних елементів),  $H_t$  – поточна невизначеність системи, яка віддає перевагу в даний момент часу певним станам.

Останній вираз аналогічний формулі дефекту маси в ядерній фізиці:

$$\Delta m = \sum_{i=1}^n m_i - M_{\text{я}}, \quad (4.3)$$

де:  $m_i$  – маса  $i$ -го вільного нуклона (протона або нейтрона, які розглядаються як два зарядові стани однієї частинки – нуклона);  $M_{\text{я}}$  – маса складового ядра;  $\Delta m$  – дефект маси.

Очевидно, вказана аналогія має нетривіальний характер і свідчить про загальні системні закономірності в природних, соціальних, соціально-економічних, ергатичних й організаційних системах. Структурна надмірність кількісно пояснює емерджентні властивості системи.

Будь-яку організацію можна розглядати як **інтегроване ціле**, в якому кожен структурний елемент займає своє місце. Відоме положення Аристотеля – “ціле більше за суму його частин”, – досі залишається найважливішою характеристикою організованої цілісності. Створення цілого здійснюється за допомогою структурною інтеграції. Поняття цілісності нерозривно пов'язане з поняттям **емерджентності**, тобто наявності якісно нових властивостей цілого, що відсутні в його складових частинах.

**П→** Як зазначає А.Д. Урсул, при формуванні цілісності шляхом взаємодії первинних елементів, що супроводжується зародженням, встановленням, ускладненням, розвитком і зміцненням зв'язків та відношень між цими елементами, зінтегрований об'єкт переходить із одного стану в інший, яким відповідають певні **ступені (форми) інтеграції** [152]: *сукупність, комплексність, впорядкованість, організація і система.*

**Інтеграцію об'єкта** можна розглядати як процес його прогресивного розвитку до більш цілісного стану, який характеризується не тільки вищим рівнем взаємозв'язаності елементів, але й зміною їх властивостей.

На наш погляд, розвиток зінтегрованого об'єкта обумовлений зміною сили та гнучкості зв'язків і відношень між елементами його складу, а також зміною параметрів самих елементів завдяки зовнішнім домінантним впливам на об'єкт, що веде до іншого рівня цілісності. Ми

вважаємо, що рівень цілісності об'єкта – це безперервна (або дискретна) величина, яка приймає будь-яке (або тільки певне) значення в діапазоні між ступенями інтеграції [119].

На противагу аналітичності природничонаукових досліджень, Г. Гегель розглядає природу як цілісність, формування об'єктів якої відповідає категоріям “механізму”, “хімізму”, “організму”. Відкритий ним закон заперечення стверджує, що *синтез* є найвища ступінь руху “абсолютної ідеї” або розвитку об'єкта за універсальною схемою типу “тезис – антитезис – синтез” [151]. Висловлюючись сучасною термінологією, *синтез* – *найвища форма або ступінь інтеграції*. ◀

Об'єднання частин організаційної системи в єдине ціле (*процес інтеграції*) вимагає постановки єдиної головної мети діяльності. На відміну від доцільних систем природи і техніки (мета їх створення є екзогенна, тобто зовнішнього походження), організаційні системи мають важливу якість – цілеспрямованість. Це означає, що *мета* для організаційних систем ендогенна (від. гр. *endon* – всередині, *genos* – походження), тобто має внутрішнє походження.

Вказана якість (цілеспрямованість) має явний вигляд всередині найбільш поширених організаційних систем. Звідси дефініція: “*організованість* – *міра організації системи, що визначається як ступінь відповідності поточного стану організації її цільовому організаційному стану*” [128, с. 437].

Таким чином, для складних організаційних систем поняття “організація” органічно пов'язано з поняттями “*мети*”, яка являється ендогенним фактором. Більш цього: *наявність власних цілей – основна відмінність організації від інших штучних антропогенних систем*, тобто систем, створених людиною.

Формування мети визначається змінами об'єктивних умов і / або суб'єктивних установок, ситуаціями і проблемами, які виникли, а також інформаційними взаємодіями активних елементів між собою і зовнішнім середовищем. Цілі організації являють собою конкретні кінцеві стани або шукані результати, досягнення яких пов'язано з перетворенням ресурсів (інформаційних, людських, фінансових, матеріалів, технологій і т. д.). Інші означення мети такі:

- ❖ Мета системи – “...такий бажаний стан (або безліч станів), яке система повинна досягти в майбутньому в певний момент часу” [131, с. 58];
- ❖ Мета – “...це такий стан системи, якого потрібно досягти, або результати, які бажано отримати” [129, с. 22];
- ❖ Цілі організації – “...це конкретні кінцеві стани або шукані результати, які хотіла б домогтися група, працюючи разом” [134, с. 698].

У соціально-економічних дослідженнях розрізняється *суб'єктивна мета* (образ бажаного майбутнього) і *об'єктивна мета* (майбутній реальний стан системи), *глобальна (основна) мета* та *цілі нижчих рівнів ієрархії* (проміжні та часткові), які отримуються методом декомпозиції. Зокрема, у теорії менеджменту вважається, що *місія* – *основна загальна мета або завдання організації*.

Очевидно, що “*цілепокладання*” – це встановлення ідеального передбачуваного результату діяльності. Це означає, що акцент ставиться на понятті *суб'єктивної мети*, тобто *того бажаного стану досліджуваної системи, якого вона з великою ймовірністю повинна досягнути у визначений момент часу*.

Очевидно, що термін “*цілепокладання*” має два значення:

- 1) встановлення ідеального передбачуваного результату діяльності;
- 2) процес формування мети на основі врахування особливостей виконавців діяльності, у ході якого передбачається досягнення певних результатів.

Як бачимо, є дві трактовки мети – суб’єктивна і об’єктивна. У першому випадку можна скористатися поняттям “суб’єктивна ймовірність” (Л. Бріллюен) та сформулювати означення: **мета** – це той бажаний стан досліджуваної системи, якого вона з великою ймовірністю повинна досягнути у визначений інтервал часу [вказано, що ми свідомо не використовуємо словосполучення “момент часу” ( $t = t_0$ ), тому що суб’єктивна ймовірність в точці дорівнює нулю, тобто  $p_s(t_0) = 0$ ].

Для досягнення поставленої мети організація використовує **ресурси** (від фр. *ressources* – засоби, запаси та їх джерела). Ресурси, які використовують організації для досягнення цілей діяльності є люди (людські ресурси), фінансові (грошові) ресурси, сировина, матеріали, паливо й енергія, комплектуючі (напівфабрикати та запасні частини), інформація, знання тощо.

Цілі функціонування (розвитку) системи переважно знаходяться в ієрархічній залежності за певними ознаками (функціональному, часовому), утворюючи “**дерево цілей**”. Розглянемо коротко структурування відношень пов’язану з побудовою ієрархій.

Як ми раніше показали, при структурному проектуванні складних систем застосовують метод декомпозиції на визначені рівні абстрагування, за якого система умовно розчленовується на підсистеми й елементи. Цей метод є різновидом **загального методу ієрархічної декомпозиції**, який оснований на розчленуванні **складних сутностей** {об’єктів (зокрема, предметів, процесів, явищ тощо), проблем, цілей, задач, понять, множин і т. д.} на більш прості компоненти з утворенням відносно більш простих сутностей, які не перетинаються та ієрархічно супідрядні. Поле визначеної сутності може бути упорядковано за відношеннями „рід – види”, „клас – типи – види” шляхом декомпозиції на ієрархічні рівні, в результаті чого отримується „**дерево сутностей**”.

Ієрархія (від грец. *Ἱεραρχία*, з *ἱερός* „священний” і *ἀρχή* „правління”) – принцип управління в централізованих структурах, порядок підпорядкованості нижчих ланок до вищих, приведення компонентів системи в структуру типу дерево. Зазначимо, що **ієрархія** – це багаторівнева структура з наявністю підпорядкування, тобто нерівноправних зв’язків між підсистемами й елементами.

Якщо вказаній структурі притаманна цілісність, то ієрархію можна вважати певним видом системи, яка складається із об’єктів (елементів), які згруповані в незалежні підмножини (групи), які розташовані на певних рівнях.

Розглянемо структури, які зображені відповідними направленими зв’язними ациклічними графами, які називаються деревами (рис. 4.6). Об’єкти (елементи)  $i$ -го рівня знаходяться під впливом об’єктів ( $i - 1$ ) групи, тобто об’єктів нульового рівня (для  $i = 1, i = \overline{1, n}$ , маємо  $i - 1 = 0$ ). У той же час, об’єкти  $i$ -го рівня чинять вплив на об’єкти ( $i + 1$ ) групи.

Вказані ієрархії називаються **домінантними**, причому в свою чергу вони поділяються на повні та неповні. Це означає, що елементи ( $i + 1$ ) групи повної домінантної ієрархії зв’язані з кожним елементом групи  $i$ -го рівня. У супротивному випадку маємо домінантну неповну ієрархію, в якій не реалізовані всі можливі зв’язки.

Узагальненням розглянутих видів ієрархій є “*китайський ящик*” – структура об’єктів, в якому один клас об’єктів є підмножиною більш потужної множини, яка, в свою чергу, є підмножиною наступної ще більш потужної множини. Таку структуру має оточуючий нас світ зі всіма складними об’єктами.

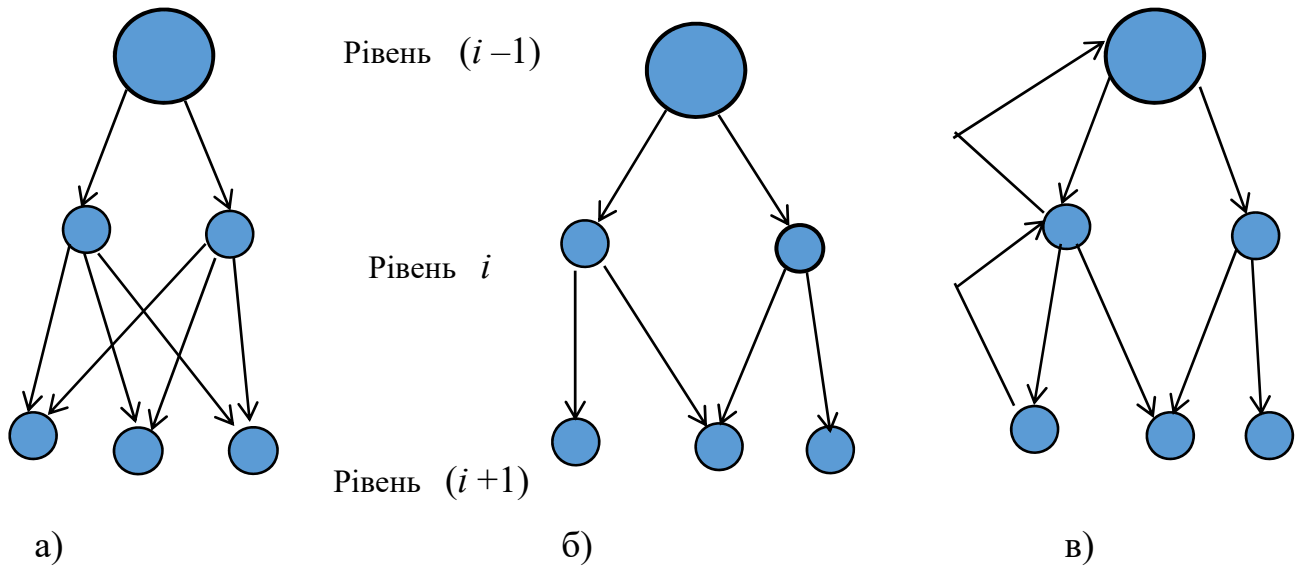


Рис. 4.6. Види графів ієрархій для рівнів абстрагування  $i = \overline{1, n}$  :

а) домінантна повна; б) домінантна неповна; в) холархія

Якщо домінантна ієрархія має зворотні зв’язки, то маємо *холархію*. Остання також буває повна та неповна.

Переважає більшість організаційних систем, як правило, має ієрархічну будову. Існує ефективний *метод аналізу ієрархій* з використанням шкали Т. Сааті. Зазначений метод полягає в декомпозиції проблеми на все більш прості складові з подальшою обробкою послідовністю суджень особи, що приймає рішення (ОПР) за парними порівняннями. У результаті отримують вплив компонент нижнього ( $i$ -го) рівня на компоненти верхнього ( $i - 1$ -го) рівня або ( $i$ -го) рівня на самий верхній (нульовий рівень, при  $i = 1$ ) (детально див. [179]).

Однією з центральних проблем системного аналізу є проблема прийняття рішень. Будь-яка *проблема* являє собою складний абстрактний об’єкт, який включає ресурси, цілі, суб’єкти діяльності, а також ряд чинників (економічних, матеріальних, фінансових, політичних і т. д.). Зазначені компоненти проблеми доцільно подати у вигляді ієрархічної структури з метою створення моделі *проблемовирішуючої системи*. Однією з центральних в цій системі є завдання формулювання цілей (побудова моделей цілей).

*Цілеспрямована система* розуміється як система, для якої мета є ендогенним чинником, або фактором внутрішнього походження. Цілеспрямовані дії організаційної системи є результатом інформаційних взаємодій елементів між собою і зовнішнім середовищем, а поведінці системи притаманний інтелектуальний вибір.

Цілеспрямованість системи обумовлює її розуміння, як єдиного цілого, що функціонує в конкретних умовах зовнішнього середовища (надсистеми) і

складається із взаємодіючих в інтересах досягнення ендогенної мети частин (елементів, підсистем), які є різноякісні, проте сумісні.

Частіше всього за конкретну сутність приймається **мета діяльності**. Зокрема, це мета функціонування та розвитку системи, мета операції, мета суб'єкта діяльності і т. д.

Якщо роль сутності відіграє мета, то **ієрархія цілей** – основа децентралізації прийняття рішень і зменшення невизначеності про стан та поведінку системи, що є важливим етапом управління.

Звісно, що для складних систем, як правило, розрізняють **глобальну мету** (від фр. global – загальна) та цілі нижчих рівнів (проміжні та часткові).

Цілі функціонування (розвитку) системи можуть знаходитися в ієрархічній залежності за певними ознаками (функціональному, часовому і т. д.), утворюючи **“дерево цілей”** в якому діють характерні відношення: залежності, нерівності та підпорядкування. Для складних систем ієрархія цілей може бути приведена у відповідність з ієрархією системи (система – підсистеми – елементи).

При низхідному просуванні по **“дереву цілей”** **глобальна (основна) мета**, або узагальнена абстрактна мета поступово трансформується в конкретні цілі, а також: зовнішня мета у внутрішню мету, стратегічна мета в тактичну мету, потенційна мета в актуальну мету, нормативна мета в ситуаційну мету, **“жорстка”** мета в **“гнучку”** мету, об'єктивна мета в суб'єктивну мету тощо.

**ДВ→** До ієрархічної структури типу **“дерево цілей”** пред'являються такі вимоги:

- глобальна (головна) мета, розташовується на нульовому рівні ( $i = 1$ );
- глобальна мета повинна включати всю сукупність підцілей, тобто цілей послідовно нижчих рівнів (1-го, 2-го і т. д.);
- цілі одного рівня повинні бути зіставлювані за масштабом і значенням;
- цілі одного рівня повинні бути незалежні одна від одної;
- цілі нижчого рівня повинні бути підпорядковані цілям верхнього рівня;
- цілі 1-го рівня, як правило, є стандартизованими („еталонними”) та підпорядковані глобальній меті;
- цілі 2-го рівня, як правило, є нормативними (конструктивними) та підпорядковані стандартизованим цілям, виступаючи як засоби досягнення цілей верхніх рівнів;
- при переході до цілей нижчих рівнів ієрархії спостерігається їх ускладнення (в кількісному та якісному відношеннях), зростає їх змістова суб'єктивність (число „степенів свободи”);
- цілі динамічні, тобто змінюються з плином часу; цілі більш високих рівнів ієрархії більш довговічніші, аніж цілі нижчих рівнів, які більше схильні до змін (швидше „старіють”);
- інформація процесу управління, що входить у „рід” успадковується метою, що входить у „вид”, а це дозволяє ліквідувати дублювання цілей (**принцип успадкування цілей**);
- на відміну від пріоритетних цілей верхнього рівня, які мають самий загальний характер, цілі нижніх рівнів – конкретні, чіткі, однозначні цілі, які виконують роль плануючих результатів. ◀

Перед постановкою мети діяльності необхідно вибрати **критерій мети** – модель мети, яка відіграє роль засобу для порівняння альтернатив. Формування (постановка) цілей визначається виниклими ситуаціями, проблемами, змінами об'єктивних умов і / або суб'єктивних установок.

Аналіз цілей верхніх рівнів ієрархії дозволяє досліднику сформулювати **простір стратегій** або кінцеву множину **альтернатив**  $A_i (i = 1, 2, \dots, g)$ , тобто методів, способів, варіантів або / засобів досягнення мети.

*Простір стратегій* (*Space strategies*,  $\mathfrak{R}$ ) виражається як прямий (декартів) добуток складових множини альтернатив:

$$\mathfrak{R} = A_1 \times A_2 \times \dots \times A_g. \quad (4.4)$$

Відсутність об'єктивного критерію, який відіграє роль засобу для порівняння альтернатив, призводить до того, що можуть реалізовуватися як неефективні (мета не досягається), а також неприпустимі альтернативи.

Нехай  $G_s$  – множина семантичних і прагматичних властивостей динамічної цільової ситуації  $S(t)$ ,  $W$  – критерій вибору мети, то є підстава формально подати мету діяльності  $\Psi$  у вигляді кортежу:

$$\Psi = \langle G_s, W \rangle, \quad G_s \subseteq G. \quad (4.5)$$

Таким чином, *цілепокладання* – це первинна фаза управління, яка передбачає постановку глобальної мети і визначення дерева цілей відповідно до призначення організаційної системи щодо характеру вирішуваної нею завдань.

Цілі змінюються з плином часу (*динамічність цілей*). Цілі верхніх рівнів ієрархії довготривалі, ніж цілі нижніх рівнів, які більше схильні до змін.

У теорії менеджменту та маркетингу актуальними та нетривіальними є задачі як постановки цілей, так і генерування альтернатив (ідей). Стадія пошуку ідей є, безсумнівно, кульмінаційною точкою процесу вирішення проблеми. За висловом основоположника німецької класичної літератури Г. Лессінга (1729-1781) “Пошук істини значно цінніше, ніж володіння нею”.

---

### 4.3. Цілі та цінності суб'єктів діяльності

---

Поняття про систему цінностей. Сутнісні носії цінностей. Ціннісні модальності. Цінності, як компонент концептуальної моделі діяльності фахівця. Життєві цінності Бенджаміна Франкліна. Піраміда Франкліна. Загальне та відмінне в цінностях та цілях.

---

Ми не можемо не розглянути питання, пов'язане з цілями суб'єкта діяльності, зокрема фахівця, які корельовано залежать від його цінностей. Як стверджує відомий психолог К.К. Платонов, *система цінностей* – ієрархія суб'єктивних цінностей, яка визначає зміст ціннісної орієнтації особи (індивідуума) або групи. Ціннісні орієнтації особи – зміст соціального рівня спрямованості індивідуума, що взаємодіє зі значущими для нього оцінками навколишньої дійсності, пофарбованими значущими емоціями. Очевидно, що ціннісні орієнтації є найважливіший фактор спілкування, який об'єднує в своїй структурі розумовий і емоційний компоненти, а також найважливіший компонент моральних і правових здібностей особи [163].

Категорію “цінність” досліджує *аксіологія* (від стар.-грец.  $\alpha\zeta\iota\alpha$  – цінність;  $\lambda\omicron\gamma\omicron\varsigma$  – учіння). Ця наукова дисципліна розрізняє два ієрархічні рівні цінностей: сутнісні носії цінностей і ціннісні модальності (модальність – відношення мовця до



змісту його висловлювання, цільова установка мови, ставлення змісту висловлювання до дійсності тощо).

**Сутнісні носії цінностей** – це цінні речі, суб'єкти діяльності, певні “акти” (пізнання, волі, любові і ненависті тощо), функції (слух, зір, почуття і т. ін.), чуттєві почуття, відповідні реакції (радість, печаль, горе), спонтанні акти.

**Ціннісні модальності** описуються в послідовності чотирьох рядів:

- 1) ціннісний ряд “приємного” і “неприємного” (страждання та насолода, чуттєве задоволення та біль, солодкість і гіркість тощо);
- 2) сукупність цінностей вітального почуття (благополучно і погано, багатство і бідність, підйом і спад, мужність і страх, задоволення і насупленість тощо);
- 3) сфера духовних цінностей (прекрасне і потворне, справедливе та несправедливе, духовна радість і смуток, розташування і неприхильність, схвалення і несхвалення, повага і неповага, духовна симпатія і антипатія, благовісний і лиховісний тощо);
- 4) вищі ціннісні модальності (святе і не святе, життя і смерть, безсмертя і забуття тощо).

Розглянемо, як же пересічна сучасна людина відноситься до цінностей. Будемо розмірковувати так.

Переважає більшість людей не надають виявленню цінностей належної уваги. Для них матеріальне переважає, всі хочуть заробляти багато грошей, мати розкішне житло, їздити на коштовних машинах, але не можуть дати повну відповідь на запитання, скільки конкретно грошей їм потрібно. Таке ставлення не є поганим, воно, скоріше, є неправильне. Будьте щирі з собою. Забезпеченість і гроші – нормальна цінність. Якщо це приносить вам задоволення, то чому б не присвятити цьому своє життя? Проте у світі є безліч інших справ, на які у вас не залишиться часу тому, що життя відносно коротке. Чи є сенс жертвувати іншими цінностями? На погляд автора посібника *категорично ні*.

Людина, на відміну від тварини, є істота соціальна, тобто вона формується і розвивається лише у взаємодії з іншими людьми, тобто у суспільстві. Наявність мови, здатність до понятійного мислення, спроможність до праці, до пристосувальної (репродуктивної) та перетворюючої (творчої) діяльності супроводжується інтенсивним обміном інформацією про процес та результати діяльності.

Не маючи генетично заготовлених способів взаємодії із зовнішнім середовищем (інстинктів), людина “запрограмована” жити не тільки для себе, для своїх близьких, але й для інших. ***Жити для інших, творити для інших, допомагати іншим є однією з актуальних цінностей людини.***

Еталонним прикладом може бути життя і діяльність римського багатія на ім'я **Меценат**, який жив у I столітті до н.е. і прославився заступництвом і безкорисливою матеріальною підтримкою поетів і художників.

Окрім вище розглянутої цінності, існують ряд інших, які ми розглянемо на прикладі цінностей освіченої людини (фахівця, професіонала).

Складно окреслити чітко коло важливих цінностей зважаючи на те, що вони іманентні (внутрішньо притаманні) конкретній особі, іноді співпадають з рисами характеру та належать до **динамічної функціональної структури фахівця**, яка має

принаймні такі *базові підструктури*, як: здатність до спілкування, спрямованість, характер, самосвідомість, досвід; психічні та інтелектуальні процеси, психофізіологічні якості; потребнісно-мотиваційна, інформаційно-пізнавальна, цілеутворююча, операційно-результативна, емоційно-почуттєва та онтогенетична підструктури [подробіці дивись у роботі автора: Костюченко М.П. Концептуальна модель діяльності педагога професійного навчання в системі неперервної освіти // Післядипломна освіта педагогічних працівників ПТНЗ у системі неперервної освіти: теорія, досвід, перспективи: матер. міжн. наук.-практ. конф.; зб. 1. – Донецьк: ДПО ІПП, 2006. – С. 96 – 102].

Особа фахівця є головним суб'єктом реалізації інноваційної культури. При цьому системо-формуєчим чинником виступає гармонійний розвиток людини в процесі активної діяльності та взаємодії з оточуючим світом. Джерелом активності є *потреби* – стани особи, що виражають їх залежність від конкретних умов існування. Потреби усвідомлюються як *мотиви*, які мають форми бажання, потягу, установки, обов'язку, відповідальності тощо.

Переважно будують *концептуальні моделі діяльності фахівця*, які репрезентують собою образ ідеального фахівця, який має професійні знання, вміння та навички, ефективно оперує методами, засобами і технологіями теоретичної та практичної діяльності, а також *професіонала*, який крім того володіє цінностями, ідеалами і взагалі цілісною професійною культурою.

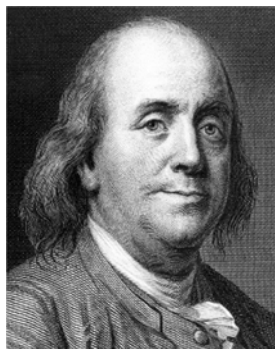
Як показали результати проведених нами емпіричних досліджень (вибірка з 738 респондентів), окрім *базових цінностей* (життя людини та її здоров'я), наступними для фахівця в ієрархічній структурі є *освіченість*, основу якого складає професіоналізм, який включає у собі професійну компетентність.

Далі за значущістю йде *порядність (моральність)*, яка включає в собі внутрішню вихованість (наявність моральних звичок і почуттів, як потреб виконувати моральні норми і протидіяти їх порушенню), ціннісні орієнтації, скромність, самоорганізованість, вимогливість до себе, комунікабельність, принциповість, справедливість, чесність, сумлінність, рефлексивність (у т. ч. самокритичність), терпимість, упевненість у собі, можливість переходу у стан комфортності (*“бути як інші”*), тактовність, альтруїзм, уміння *“руйнувати”* свою консервативність (*“я все знаю, все вмю”*), безперервне моральне вдосконалення.

Третьою якістю інтелектуальної особи фахівця є *духовність*, яка включає в собі любов до Бога, до матері, до дітей, до батьківщини (патріотизм), почуття власного достоїнства, людяність, доброту, гуманність, лагідність (*миротворіння*), милосердність (*“блаженність чистим серцем”*), емоційну чуйність, емпатію, здатність до аналізу духовних смислів, неперервне духовне самовдосконалення [див. : Костюченко М.П. Гармонійний розвиток особистості майбутнього фахівця як вимога інноваційної культури // ХХІХ міжн. наук.-практ. конф., 20 травня 2011р. “Межі мультикультуралізму в постсекулярному суспільстві”: зб. матер. – Донецьк: ІПП “Наука і освіта”, 2011. – С. 160 – 163].

Як результат, бачення цінностей сучасною освіченою людиною (науковцем, викладачем вищої школи) коротко виражено афоризмом: *“Без пізнання, творчості та кохання життя перетворюється у суцільну нудьгу”* (М.П. Костюченко).

ДВ→ Взірцем можна взяти **Бенджаміна Франкліна** (1706-1790) – політика, дипломата, вченого, винахідника, журналіста та бізнесмена. Франклін ще з юнацтва зрозумів, що *життєві цінності, їх належність до духовного, – це той фундамент, на якому кожен повинен будувати своє життя*. На рис. 4.7 висвітлені вказані цінності з незначними доповненнями автора.



Головними рисами характеру Франкліна були: висока працездатність, цілеспрямованість, вимогливість до себе, чесність і порядність. Франклін описує свої життєві цінності та план по їх досягненню в автобіографії [Режим доступу: e-libra.ru/read...franklina-avtobiografiya.html].

Франклін в автобіографії писав, що існує багато сенсів життя (присвятити себе сім'ї або наукам, мати владу, бути знаменитим поетом, відомим меценатом і т. ін.), проте *головне* – це має бути те, чим ви реально хочете займатися і чому готові присвятити життя, те, що зробить вас щасливими, допоможе реалізуватися та принесе іншим людям користь. Він вважав, що кожна людина повинна “обережно і виважено” визначати свої цінності. Ця видатна людина запропонувала модель постановки і досягнення глобальної мети, яка розрахована на все життя – це так звана *піраміда Франкліна*. Значення вказаної моделі не втрачено і на сьогодні та має популярність у багатьох західних директорів, керівників, менеджерів різних ланок. ◀

*Життєві цінності Бенджаміна Франкліна (1706-1790),  
політика, дипломата, вченого, винахідника, журналіста,  
бізнесмена, одного з батьків-засновників США та авторів  
Конституції США:*

1. **Стриманість.** Їсти не до пересичення, пити не до сп'яніння.
2. **Мовчання.** Говорити тільки те, що принесе користь мені або іншим людям, уникати порожніх розмов.
3. **Порядок.** Кожна річ має своє місце, а кожна справа – свій час.
4. **Рішучість.** Потрібно робити те, що повинно бути зроблено; неухильно виконувати те, що вирішено.
5. **Ощадливість.** Гроші витратити тільки на те, що приносить благо мені або іншим; нічого не марнотратити.
6. **Працьовитість.** Не втрачати часу; бути завжди зайнятим чим-небудь корисним, уникати непотрібних дій.
7. **Щирість.** Не використовувати шкідливий обман; думати чесно і справедливо, цього ж правила дотримуватися в розмові.
8. **Справедливість.** Не завдавати нікому шкоди; не чинити несправедливо і не уникати добрих справ.
9. **Помірність.** Уникати крайнощів; терпимо ставитися до образ.
10. **Чистота.** Дотримуватися тілесної чистоти, охайності в одязі і в житлі.
11. **Спокій.** Не хвилюватися через дрібниці і з приводу звичайних або неминучих випадків.
12. **Цнотливість** (доброчесність, моральність, невинність, незайманість, недоторканість). Бути цнотливим в думках, керувати своїми інстинктами.

Рис. 4.7. Життєві цінності Бенджаміна Франкліна

Відмінність піраміди Франкліна від інших моделей в тому, що вона планує не тільки час, але і зайнятість, шляхи досягнення глобальної мети. Ця техніка “спрямована в майбутнє” – на виявлення того, що повинно бути зроблено, а не на перегляд поточної діяльності з метою більш ефективної її організації (рис. 4.8).

Відмінність піраміди Франкліна від інших моделей в тому, що вона планує не тільки час, але і зайнятість, шляхи досягнення глобальної мети. Ця техніка “спрямована в майбутнє” – на виявлення того, що повинно бути зроблено, а не на перегляд поточної діяльності з метою більш ефективної її організації (рис. 4.8).

**ДВ→** Цінності – це не тільки наше ставлення до об’єктивних речей, а й *сутність*, яка знаходить потреби для свого задоволення. Отже, *цінність* – це функція сутності задовольняти наші потреби. Маючи таку складну будову, цінності в процесі діяльності виконують роль останньої підстави вибору цілей і засобів діяльності.

І мета, і цінність виступають регулятором діяльності, проте між ними є відмінність.

Як нам відомо з наведених вище означень, *мета* є складним інтегративним об’єднанням знань, умінь, цінностей, волі, емоцій та містить у собі майбутній результат діяльності, спрямовуючи, організовуючи та спонукаючи весь діяльнісний процес. На відміну від цінностей, мета діяльності є технологічним утворенням, елементом проєктивної свідомості і завжди викликає цілеспрямовану дію.



Рис. 4.8. Піраміда Франкліна

Система цінностей функціонує в *просторі ідеальних сутностей*. Формуючись на реальних потребах вона зберігає елемент нездійсненності, недосяжності, нескінченності.

Ціннісні орієнтації в людини утворюються на основі *системи цінностей*, вони є компонентом у структурі особи та виступають цементуючим підґрунтям життя та діяльності. Проте, за умови невпинної праці над собою, над своїм вдосконаленням людина може досягти ряду цінностей, в результаті чого *особа перетворюється в особистість*.

Зазначимо, що не слід змішувати поняття “особистість” та “особа”. Під особою розуміють людського індивіда як суб’єкта відносин (відношень) і свідомої діяльності. Ці два поняття – *особа* як цілісність людини (від лат. persona – персона) і *особистість* як її соціальний і психологічний образ (лат. personalitas – особистість) – термінологічно цілком різні.

*Особистість* – це високий рівень розвитку особи (індивідууму), якому притаманні ряд ознак (властивостей, характеристик), серед яких належить виділити такі: високий рівень

інтелектуального розвитку, неповторні креативні якості, індивідуальність (несхожість на інших), висока ступінь працьовитості та відповідальності, широкі інтереси в різних галузях знань, порядність, духовність, особиста гідність (визначається рівнем вихованості, рефлексивності), свобода (здатність до автономної діяльності, прийняття самостійних рішень).

Наведемо декілька афоризмів, які відносяться до цілей і цінностей життя людини, яка є найдосконалішим творінням всесвіту:

- *“Як не можна відривати один від одного ці три здібності (розум, волю і совість), так як вони складають єдину душу, так не слід розривати і три прикраси душі: освіта, чеснота і благочестя. ...У цьому житті не можна знайти будь-якої границі бажанням і прагненням”* (Я. А. Коменський).
- *“Для прагнення до всемогутності необхідні стародавні ідеали: правда, добро, краса, достаток”* (А. Бірс).
- *“Щастя природної людини таке ж є просте, як і його життя: воно пов'язано з відсутністю страждань; здоров'я, свобода, добробут в необхідному – ось в чому воно полягає”* (Ж. Руссо).
- *“Ніхто не досяг полярної зірки, але багато хто, дивлячись на неї, знаходив правильний шлях”*(Д. Пойа).
- *“Щастя дається тільки знаючим. Чим більше знає людина, тим різкіше, тим сильніше вона бачить поезію землі там, де її ніколи не знайде людина, що володіє мізерними знаннями”* (К. Паустовський).
- *“Творець, здебільшого, вітає появу спонукання до творчості, а талановита людина насолоджується, розвиваючи свій талант”* (А. Маслоу).
- *“Де древо пізнання, там і рай”* (Ф. Ніцше).
- *“Що добре? – Все, що закріплює свідомість влади і саму владу людини. Що погано? Все, що впливає із слабкості”* (Ф. Ніцше).
- *“Не той вчений, хто займається наукою, а той, хто не може жити без науки”* (П.Л. Капіца).
- *“Світ в якому ми народжені, грубий і жорстокий, але в той же час повний божественної краси”* (К.Юнг).
- *“Людина - єдина тварина, яка знає, що його чекає смерть, і єдине, що сумнівається в її остаточності”* (Хокінг Стівен).
- *“Навчається треба тільки весело. Щоб перетравлювати знання, треба поглинати їх з апетитом”*(Анатоль Франс).
- *“Людина народжується для пізнання, учіння, фізичного та духовного зростання, творення та творчості, для кохання та відтворення собі подібних”* (М.П. Костюченко).
- *“Ті, що веселять душу та збуджують тіло мають попит у людей значно більший, ніж ті, що спонукують до думки”* (М.П. Костюченко).
- *“Без пізнання, творчості та кохання життя перетворюється у суцільну нудьгу”* (М.П. Костюченко).

---

#### 4.4. Ситуаційна мета діяльності та вирішення проблем

---

Ситуація: означення. Детерміновані, ймовірнісні та нечіткі ситуації. Принцип здійснення ситуаційної мети. Ситуаційна мета. Зв'язок невизначеності ситуаційної мети діяльності та проміжку часу. Результат діяльності. Вимоги до мети діяльності. SMART-підхід. Поняття проблеми. Три класи проблем. Метод аналізу ієрархій Т. Сааті. Кількісна шкала переваги альтернатив.

---

Формування цілей визначається виниклими ситуаціями, проблемами, змінами об'єктивних умов і / або суб'єктивних установок. Вирішення проблем починається з аналізу ситуацій.

Багато за теоретичну основу взяти *ситуаційний підхід* в межах економіки (К. Маклер, Г. Кунц, Р. Акофф та інші), або в межах теорії керування (Д.А. Поспелов).

**Ситуація** (від. лат. situatio – становище) – певний стан  $\omega_i$ , із визначеної кінцевої множини  $\Omega$  числа  $n$  станів системи ( $\omega_i \in \Omega, i = \overline{1, n}$ ) та середовища її функціонування, що характеризується априорі встановленими інтервалами значень показників системи та функціональних характеристик середовища [83]. Іншими словами, **ситуація** – це поєднання умов і обставин, які створюють певну обстановку, стан.

Ситуації поділяються на штатні та позаштатні, сприятливі та несприятливі, звичайні та проблемні, об'єктивні та суб'єктивні, випадкові та закономірні, природні та штучні, зовнішні та внутрішні і т. д. У свою чергу, позаштатні ситуації поділяються на критичні, надзвичайні, аварійні та катастрофічні (більш детально класифікація ситуацій висвітлена в посібнику О.В. Бондара [24]).

**П**→ Ситуація вважається заданою, якщо вказуються властивості (характеристики, параметри, ознаки тощо) суб'єктів і об'єктів організаційної системи, відношень і зв'язків між ними, або сукупність взаємопов'язаних фактів, або система конкретних обставин, які мають місце в момент часу  $t$ .

Якщо  $S$  – множина всіх можливих ситуацій для певної організаційної системи  $\mathfrak{S}$  за проміжок часу  $\Delta t$ ,  $S(t)$  – поточна ситуація,  $S(t_0)$  – ситуація в початковий момент часу  $t_0$ ,  $a_i$  – стан ( $i$ -й) організаційної системи,  $R_i$  – причинно-наслідковий зв'язок між станами системи,  $n$  – повна кількість станів системи, то **формальна модель поточної ситуації** має вигляд [115]:

$$S(t) = \mathbf{F} [S(t_0), a_1 R_{12} a_2, a_2 R_{23} a_3, \dots, a_{n-1} R_{n-1, n} a_n, t] \quad (4.6)$$

де  $S(t) \in S$  ( $S$  – множина всіх ситуацій);  $\mathbf{F}$  – символ оператора.

Відзначимо, що більшість ситуацій в організаційній системі  $\mathfrak{S}$  є **детерміновані** (передбачувані), тобто мають “жорстку” каузальну (причинно-наслідкову) природу, тому їх можна зобразити як множину відношень між наслідками  $\{a_j\}$  та їх причинами  $\{a_i\}$ ,  $a_i \Rightarrow a_j$ , де  $j = i + 1$ .

Детерміновані ситуації є проявом детермінованих законів природи, які вивчають взаємозв'язки між основними факторами, які визначають певне явище, а впливом множини другорядних факторів, які призводять до випадкових відхилень результату, нехтують.

Разом з тим, в організаційних системах можуть відбуватися випадкові події, які формують стохастичні (випадкові) процеси та явища з невизначеним результатом, а значить і **стохастичні ситуації**. У цьому випадку досліднику потрібно враховувати не тільки основні фактори, але й множину другорядних, що формують закон розподілу ймовірностей  $f(x)$ . При цьому майбутній стан системи можна визначити не однозначно, а лише з деякою ймовірністю  $P$ :

$$P(X < x) = F(x) = \int_{-\infty}^x f(t) dt, \quad (4.7)$$

де:  $f(t)$  – щільність розподілу ймовірностей, або диференціальна функція розподілу неперервної випадкової величини  $X$  (закон розподілу ймовірностей);  $F(x)$  – інтегральна функція (закон) розподілу випадкової величини  $X$ , яка співпадає зі ймовірністю  $P$ .

Зазначимо, що детерміновані ситуації є частинним випадком стохастичних, коли ймовірність дорівнює одиниці ( $P = 1$ ).

Очевидно, що множину станів  $\{a_i\}, i = \overline{1, n}$  організаційної системи  $\mathfrak{S}$  можна вважати кінцевим сімейством випадкових подій  $\{a_i\}_{i \in I} \subset \Xi$ , які є спільно незалежні. Тому для будь-якого набору цих подій, ймовірність їх логічного добутку дорівнює добутку ймовірностей складових подій:

$$P(a_1 \cap a_2 \cap \dots \cap a_n) = P(a_1) \cdot P(a_2) \cdot \dots \cdot P(a_n). \quad (4.8)$$

Проте в загальному випадку залежність між наслідками  $\{a_j\}$  та їх причинами  $\{a_i\}$  має *стохастичний* (випадковий) характер й оцінюються ймовірністю  $p_{ij}$ . Якщо подія  $a_i$ , яка має ймовірність  $P(a_i)$ , викликає подію  $a_j$  з умовною ймовірністю  $P(a_j | a_i)$ , то відповідно до теореми множення ймовірностей, маємо:

$$P(a_i \cdot a_j) = P(a_i) \cdot P(a_j | a_i) \quad (4.9)$$

Очевидно, що в загальному випадку, відношення між наслідками  $\{a_j\}$  та їх причинами  $\{a_i\}$  мають *стохастичний* (випадковий) характер і оцінюються ймовірністю:

$$a_i \xrightarrow{p_{ij}} a_j, \quad (4.10)$$

де при  $p_{ij} = 0$  немає зв'язку між  $a_i$ , та  $a_j$ , а при  $p_{ij} = 1$  існує повний, однозначний зв'язок між  $a_i$  та  $a_j$ , тобто немає невизначеності, що вказує на детермінований характер певної ситуації  $S(t) \in S$ .

Розглянемо постановку мети діяльності відносно поточної ситуації  $S(t)$  і отримаємо поняття “ситуаційна мета” ( $\Psi$ ). З огляду на працю Ю.М. Поліщук [164], сформулюємо **принцип здійснення ситуаційної мети**  $\Psi$ : *поставлена мета діяльності називається здійсненою, якщо з ймовірністю  $p \geq p_0$  можна досягти бажаний результат за проміжок часу  $\Delta t < \Delta T$ , тобто:*

$$p(\Delta t) \geq p_0, \quad (4.11)$$

де  $p_0$  – поріг здійснення мети.

Таким чином, досягнення мети діяльності є подія стохастична, тобто така, яка при здійсненні сукупності умов і обмежень може або відбутися, або не відбутися. Очевидно, якщо бажаний результат отриманий за часовий проміжок  $\Delta t > \Delta T$ , то мета недосягнута.

З іншого боку, при достатніх ресурсах, зокрема часових, правильно поставлена мета цілком досягається, тобто  $p(\Delta t) = 1$ . Але враховуючи динамічність виробничої системи і певну невизначеність середовища, *трудоий процес найчастіше повинен розглядатися не тільки як процес досягнення мети, але й як процес послідовного уточнення самої мети.*

Для опису чинників нестохастичної природи використовується апарат *теорії нечітких множин* (Л. Заде), а також *псевдофізична логіка* (Д.А. Поспелов), в якій прийняття тих або інших рішень прив'язано до поточної ситуації та визначається нею [80; 89; 167]. Як показав автор [115],

множину якісних нечітких виробничих ситуацій  $S_H$ , які безпосередньо пов'язані з цілеспрямованою діяльністю людини, доцільно описати у вигляді такої моделі:

$$S_H = \{s, \mu(s), \forall s \in S\} = \{\Psi, \varphi, \xi, Z, E, R, Q, \Delta T\}, \quad (4.12)$$

де  $\mu(s)$  – функція належності Л. Заде, яка визначена для всіх елементів  $s$  множини  $S$  і набуває значень на відріжку  $[0, 1]$ ;  $\Psi$  – ситуаційна мета діяльності;  $\varphi$  – конкретний зміст діяльності;  $\xi$  – способи, методи і технології діяльності;  $Z$  – наявні ресурси;  $E$  – конкретний контингент працівників цеху (лабораторії, відділу тощо);  $R$  – множина нечітких відношень між працівниками;  $Q$  – множина збурюючих чинників;  $\Delta T$  – проміжок часу спостереження.

Загальна дія детермінованих  $S_d$ , стохастичних  $S_c$  і нечітких ситуацій  $S_H$  подається коротко:

$$\langle S_d, S_c, S_H, W(t), G \rangle, \quad (4.13)$$

де  $W(t)$  – змінний у часі функціонал комбінацій названих ситуацій;  $G$  – множина ідентифікаторів ситуацій.

В організаційній системі необхідно враховувати не тільки основні фактори і (або) чинники, які викликають детерміновані (передбачувані) реальні процеси і явища, але й множину другорядних факторів і (або) чинників, які призводять до випадкових збурень і спотворень результату діяльності, тобто вносять до нього елемент невизначеності.

Звідси випливає, що *неможливо однозначно прогнозувати результат функціонування (діяльності) організації за даними умовами, тому що майбутній її стан визначається не однозначно, а лише з деякою ймовірністю. Вказане відноситься і до здійснення поставленої мети.*

Підтвердженням цьому є випадки, які трапляються часом нерідко, коли поставлена мета діяльності не досягається, тобто існує розбіжність мети діяльності  $\Psi$  та його результату  $\Phi$ , а саме

$$\Delta = |\Psi - \Phi|. \quad (4.14)$$

Це пояснюється безліччю причин, зокрема зі стохастичністю та нечіткістю апріорно заданої ситуації.

Нами показаний зв'язок між невизначеністю ситуаційної мети діяльності  $\Delta\Psi$  і проміжком часу досягнення мети  $\Delta t$  [115]:

$$\Delta\Psi \cdot \Delta t \geq k \quad (4.15)$$

де  $k$  – емпіричний коефіцієнт.

Очевидно, при суттєвому збільшенні проміжку часу ( $\Delta t \rightarrow \infty$ ) невизначеність (неясність, невстановленість) скасовується, що формально означає зменшення до нуля невизначеності ситуаційної мети діяльності ( $\Delta\Psi \rightarrow 0$ ), перетворення невизначеності мети в її детермінованість, а це, в свою чергу, означає, що результат діяльності  $\Phi(t)$  в граничному випадку співпадає з поставленою метою, тобто

$$\lim_{\Delta t \rightarrow \infty} \Phi(t) = \Psi. \quad \blacktriangleleft \quad (4.16)$$

Таким чином, правильна постановка мети діяльності є необхідною передумовою успіху. Для цього, як показав А. Вайсман [31], **мета діяльності**



**повинна бути:**

- 1) реальною;
- 2) мотивованою;
- 3) логічно побудованою за:
  - a) змістом (*чого я хочу досягнути ?*);
  - b) обсягом (*скільки я хочу досягнути ?*);
  - c) часом (*коли я хочу досягнути ?*).

**ДВ**→ Сучасний **SMART-підхід** розглядає умови формулювання найближчих цілей. Мається на увазі як оперативні, так і короткострокові цілі. У першому випадку **мета** розрахована на такий строк, впродовж якого не очікується істотних змін об'єкта дослідження, а в другому випадку очікуються тільки кількісні зміни, а не якісні. Пропонуємо вашій увазі найбільш поширені трактування даної аббревіатури:

- S – *specific, significant, stretching* – конкретна, значна, важлива, вагома;
- M – *measurable, meaningful, motivational* – вимірна, значуща, мотивуюча;
- A – *attainable, agreed upon, achievable, acceptable, action-oriented* – досяжна, узгоджена, орієнтована на конкретні дії;
- R – *realistic, relevant, reasonable, rewarding, results-oriented* – реалістична, доречна, корисна і орієнтована на конкретні результати;
- T – *time-based, timely, tangible, trackable* – на певний період, своєчасна, відстежувана.

Результати багаторічного дослідження Едвіна Локка (E. Locke) з Мерілендського університету, США (1996 р.), присвяченого взаємозв'язку між постановкою мети і безпосереднім виконанням завдань, показали, що:

- ❖ Постановка мети найбільш значима, коли людина переконана, що мета важлива і мета досяжна.
- ❖ Чим важче поставлена мета, то більше почуттів від досягнутого.
- ❖ Чим конкретніша мета, тим точніше регулюється діяльність.
- ❖ Цілі, які одночасно є конкретні та важкі, обумовлюють найкращу діяльність, спрямовану на їх досягнення.
- ❖ Постановка мети приносить найбільшу користь, коли присутній зворотний зв'язок, який вказує на просування до мети.
- ❖ Постановка мети опосередковує вплив досвіду попередніх дій на наступні.
- ❖ Цілі стимулюють планування.
- ❖ Цілі впливають на особистість.
- ❖ Цілі служать стандартами для почуття задоволеності собою.
- ❖ Люди відчують більше труднощів при досягненні цілей, якщо:
  - ✓ у них немає досвіду або тренування;
  - ✓ вони знаходяться під надмірним тиском, що примушує діяти;
  - ✓ на них сильний тиск часу. ◀

Формування мети або цілей пов'язана з необхідністю вирішення проблеми, яка пов'язана з процесом функціонування або / і розвитком складної системи.

**Проблема** (гр. *πρόβλημα* – задача, завдання) в широкому сенсі – *складне теоретичне або практичне питання, що вимагає вивчення та вирішення*.

У науці проблема – суперечлива ситуація, яка виступає у вигляді протилежних позицій у поясненні будь-яких об'єктів ПГ і потребує адекватної теорії її вирішення. У житті проблеми формуються в зрозумілому для людей вигляді “*знаю що, не знаю як*”, тобто відомо, що потрібно отримати, але не відомо, як це зробити.

В залежності від глибини пізнання розрізняють **три класи проблем** [188]:

- 1) **добре структуровані**, або кількісно сформульовані, проблеми, в яких наявні залежності з'ясовані настільки добре, що вони можуть бути виражені в

числах, знаках і символах, які також дають в кінцевому підсумку чисельні оцінки;

- 2) **неструктуровані**, або якісно виражені проблеми, що містять лише опис важливих ресурсів, ознак і характеристик, кількісні залежності між якими зовсім невідомі;
- 3) **погано структуровані**, або змішані, проблеми, які містять як якісні, так і кількісні елементи, причому якісні маловідомі та невизначені сторони проблеми мають домінуючу тенденцію.

Добре структуровані проблеми вирішуються методами дослідження операцій.

**Евристичні методи** ефективні для вирішення неструктурованих проблем. А погано структурованими проблемами займається системний аналіз. Зокрема до погано структурованих проблем відносяться такі **типові проблеми**, які:

- пов'язані з поставленими цілями та *альтернативами* (засобами для досягнення цих цілей), а також з *ресурсами* (все те, що необхідно затратити для забезпечення кожної альтернативи);
- мають невизначеності;
- пов'язані з проектуванням складних систем і процесів;
- містять елементи ризику та потребують значних вкладень капіталу;
- пов'язані з потребами складного комбінування ресурсів, необхідних для їх розв'язання.

Отже, аналіз і вирішення проблем є основною задачею системного аналізу (зауважимо, що проблема *вирішується*, а задача – *розв'язується*).

Другою задачею системного аналізу є створення систем в аспекті проблем проектування (конкретні питання проектування технічних систем розглядаються в **системотехніці**).

Третьою задачею системного аналізу є дослідження оптимальності й ефективності створеної системи.

Четвертою задачею є управління застосуванням системи.

П'ятою задачею системного аналізу є прийняття рішень й оптимізація.

Шоста задача – методи побудови моделей складних систем та їх аналіз.

Сьома задача – розробка дослідницьких технологій системного аналізу

Однією з центральних проблем **системного аналізу** є проблема прийняття рішень. Будь-яка **проблема** являє собою складний абстрактний об'єкт, який включає ресурси, цілі, суб'єкти діяльності, а також ряд чинників (економічних, матеріальних, фінансових, політичних і т. д.). Зазначені компоненти проблеми доцільно подати у вигляді ієрархічної структури з метою створення моделі **проблемовирішуючої системи**. Однією з центральних у цій системі є завдання формулювання цілей (побудова моделей цілей).



Зазначена вище система, як правило, має ієрархічну будову. Існує ефективний **метод аналізу ієрархій (MAI)** з використанням шкали **T. Сааті**. Метод аналізу ієрархій був запропонований у кінці 1970-х рр. **Томасом Сааті** (Thomas L. Saaty) (народ. в 1926 р.) – американський математик, професор Пенсильванського університету. Основні праці відносяться до теорії графів, теорії масового обслуговування, оптимізації і

додатків математики до спеціальних питань. За його участю створено 13 книг з математики.

МАІ полягає в декомпозиції проблеми на більш прості складові частини і поетапному встановленні пріоритетів оцінюваних компонентів з використанням парних (попарних) порівнянь (подробіці методу Т. Сааті див. у першоджерелі [179]).

МАІ передбачає наступні етапи :

1. Знаходження проблеми.
2. Побудова ієрархії – розкладання проблеми на елементарні складові: від проблеми через проміжні складові до самого нижнього рівня – переліку простих альтернатив.
3. Оцінювання важливості альтернатив за допомогою методу парних порівнянь.
4. Оцінювання локальних пріоритетів порівнюваних елементів.
5. Випробування узгодженості локальних пріоритетів.
6. Ієрархічний синтез вирішення проблеми.

У найбільш простій ієрархії, яка є домінантною, Т. Сааті визначає три рівні: верхній рівень мети (або цілей, purpose, **PPS**), середній – критерії (criteria, **CR**), нижній – перелік альтернатив (alternatives, **ALT**) (рис. 4.9).

Між рівнями будуються квадратні матриці  $(a_{ij}), i = \overline{1, m}, j = \overline{1, n}, m = n$ , які мають властивість зворотної симетрії  $a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}}$  Для структури, наведеної на рис. 4.9,

матриці будуються в такий спосіб: одна матриця для порівняння відносної важливості критеріїв по відношенню до мети (цілей) та інші матриці – для оцінювання відносної значущості альтернатив щодо кожного з критеріїв другого рівня.

Число матриць між рівнем критеріїв і альтернатив дорівнює числу критеріїв. Загальне число матриць дорівнює числу критеріїв плюс одна для оцінки критеріїв щодо мети (цілей).

У матрицях елементи нижчого рівня (альтернативи, варіанти) порівнюються попарно по відношенню до критеріїв, а критерії – по відношенню до мети.

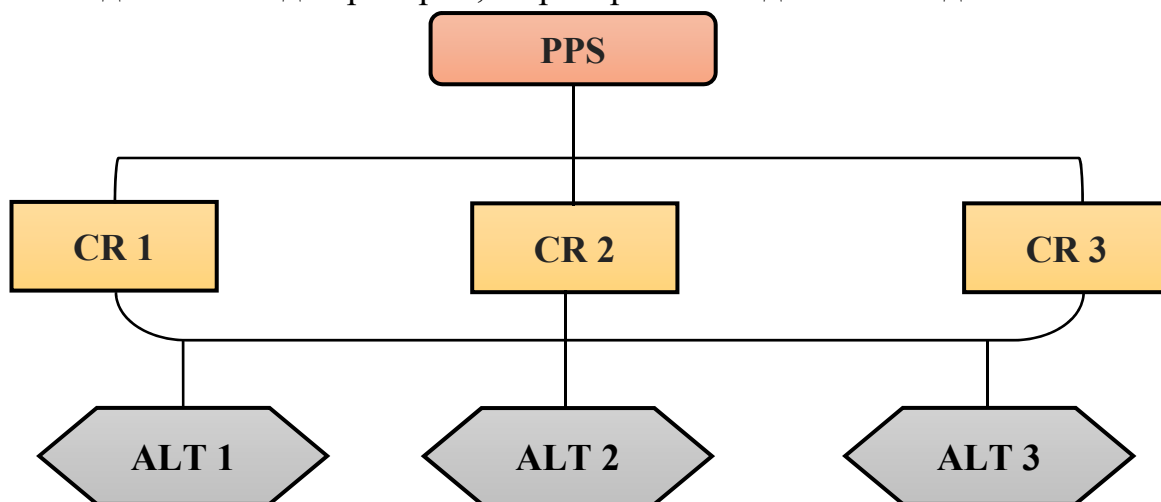


Рис. 4.9. Домінантна ієрархія методу Сааті

Будучи фахівцем з системного аналізу, Т. Сааті запропонував кількісну шкалу переваги альтернатив. Уведена ним 9-ти бальна шкала є ранговою, але вона досить стійка і результати, одержані за нею, наближаються до результатів, одержаних у шкалі відношень. Опис шкали Сааті подано у табл. 4.3.

Таблиця 4.3

Оцінка переваги альтернативи у шкалі Сааті

Визначення переваг або важливості однієї альтернативи над іншою	Міра переваги (важливості)
Переваги немає зовсім. Рівнозначна	1
Незначна перевага. Дещо важливіша	3
Відчутна перевага. Важливіша	5
Сильна перевага. Значно важливіша	7
Абсолютна перевага. Абсолютна важливість.	9
Проміжні оцінки	2, 4, 6, 8

Таким чином, у методі Сааті оцінюються такі елементи:

- відносна важливість *критеріїв* по відношенню до мети (цілей);
- відносна значущість *альтернатив* щодо кожного з критеріїв другого рівня.

Для вказаного оцінювання рекомендується вище вказана спеціальна шкала від 1 до 9, в якій критеріям (альтернативам) рівної важливості ставиться у відповідність одиниця, при помірній перевазі критеріїв (альтернатив) – 3, при істотній перевазі – 5, значній перевазі – 7 і дуже сильній перевазі – 9. Значення 2, 4, 6 і 8 використовуються як проміжні між двома сусідніми компонентами.

Зазначимо, що відносна важливість / значущість будь-якого критерія / альтернативи, порівнювано з собою дорівнює одиниці. Це означає, що діагональ матриці складається з одиниць. Враховується також властивість зворотної симетрії: симетричні клітини (комірки) матриці заповнюються зворотними величинами. Експерт чи ОПР маючи певну сукупність матриць та отримавши оцінки відносної важливості критеріїв і відносної значущості альтернатив піддає їх змістовому аналізу та приймає відповідне рішення (приклади будуть розглянуті в розділі, присвяченому кваліметрії).

## 4.5. Управління в організаційних системах

Управління в організаційних системах (ОС). Менеджмент. Суб'єкт і об'єкт управління. Основні функції управління в ОС. Стратегія. Стадії процесу управління. Прийняття управлінського рішення та його реалізація. Контроль та його види. Наукові підходи дослідження основних функцій управління. Ситуація. Управлінська ситуація. Ситуаційна теорія управління. Переваги ситуаційного підходу в управлінні. Поточна та повна ситуація. Логіко-трансформаційне правило Д.О. Поспелова. Метод ситуаційного управління (керування): суть, модель, особливості. Сутність системного, процесного, ситуаційного та поведінкового підходів в управлінні. Кількісні підходи та методи в управлінні. Типи управління. Сутність системного аналізу.

Організаційна система характеризується стійкістю поведінки, що являє собою одне з проявів інтегративних властивостей системи і збереження її цілісності. Для всіх видів організаційних систем (економічних, соціальних, політичних,

педагогічних, виробничих, ресурсних, технологічних тощо) властиві *активні форми стійкості*. Головною формою вказаної стійкості є управління.

Як зазначено в стандарті ДСТУ ISO 9000-2015, „*управління* – скоординована діяльність, яка полягає у спрямуванні та контролюванні організації” [68].

Термін “*управління*” є центральним терміном економічної кібернетики, під яким розуміється процес переробки інформації, прийняття управлінського рішення та його реалізація, тобто дія суб’єкта управління на об’єкт управління.

З кібернетичної точки зору *управління* – це переробка інформації та прийняття на цій основі рішень, пов’язаних зі змінами стану системи або процесу, які ведуть до досягнення поставленої мети.

Відносно більш просте означення наводить В.С. Михайлов: управління – “процес приведення заданих об’єктів у стан, що відповідає поставленим цілям. При цьому об’єкт, яким потрібно управляти, назвемо об’єктом управління” [137, с. 5].

Майкл Мескон вважає, що управління – це процес планування, організації, мотивації і контролю, необхідний для того, щоб сформулювати і досягти цілей організації через інших людей. Пітер Друкер визначає управління як особливий вид діяльності, який перетворює неорганізований натовп в цілеспрямовану, результативну та ефективну групу.

В умовах ринкових відносин застосовується *менеджмент* – сукупність принципів, методів, засобів і форм управління виробництвом (організацією, фірмою, закладом освіти тощо).

Термін “*менеджмент*” (від лат. *manus* – рука, від англ. *manage* – управляти) в свою чергу є центральним терміном *соціального управління, або управління матеріальними і людськими ресурсами*. Очевидно, що в соціальному управлінні об’єкт управління одночасно виступає і його суб’єктом, тому що в цьому і другому випадках мова йде про людей і складених ними соціальних спільнот.

У рамках менеджменту, “управління є процес перерозподілу обмежених ресурсів, необхідних для задоволення потреб організації шляхом досягнення поставлених цілей” [131, с. 75]. Під *ресурсами* розуміються сировина, матеріали, напівфабрикати, запасні частини, паливо і енергія, кваліфіковані працівники, інформація, фінанси (капітал) тощо.

Будемо розуміти під терміном “*управління*” процес формування цілеспрямованої поведінки організаційної системи за допомогою інформаційних впливів, які виробляються (генеруються) людиною (групою людей). Іншими словами, *управління* – це переробка інформації та прийняття на цій основі рішень, зв’язаних з зміною стану системи або процесу, що веде до досягнення поставленої мети.

Управління є продуктом соціальних, соціотехнічних, економічних, організаційних й організаційно-технічних (виробничих) систем. Дуалізм (від лат. *dualis* – подвійність) управління в організаційних системах полягає в тому, що *управління є*:

- 1) функцією організованих систем різноманітної природи, що забезпечує збереження їх структури, підтримання режиму діяльності, реалізацію їх цілей і програм;

2) процесом формування цілеспрямованої поведінки системи за допомогою інформаційних діянь, які виробляються людиною (групою людей) або інтелектуальною системою.

Особа, яка уповноважена виконувати функції управлінця (керівника) організації або його підрозділу називається менеджером. Більш точніше: **менеджером** називається кваліфікований фахівець (керівник-управлінець), який відповідає за розроблення і прийняття рішень з організаційних питань управління виробничо-господарською діяльністю підприємства (організації, фірми, закладу) чи його підрозділу, а також керує діяльністю працівників у процесі виконання завдання.

Менеджмент розглядає не керуючу систему і об'єкт керування (як в кібернетиці), а відповідно суб'єкт управління та об'єкт управління.

**Суб'єкт управління** – це людина (управлінець ) або група людей, які створюють управлінські дії (впливи) в рамках організації і з метою реалізації її цілей і завдань.

**Об'єкт управління** – це все те, на що орієнтовані управлінські дії суб'єкта управління. Це може бути людина (працівник), група або колектив людей (працівників).

Коротко розглянемо основні функції, елементи, стадії та задачі управління.

Розглядаючи організаційну систему, як відкриту, можна показати, що при управлінні здійснюється таке:

- a) на вході організація отримує із зовнішнього середовища ресурси;
- b) в процесі своєї діяльності організація обробляє ці входи, перетворюючи їх у продукцію (вироби чи товари, знання) або послуги (зокрема, управлінські рішення);
- c) якщо в організації система управління ефективна, то в ході процесу перетворення виходить додаткова вартість входів, у результаті чого з'являються багато додаткових виходів, такі як прибуток, збільшення частки на ринку та обсягу продажів, прогресивний розвиток організації та ін.

**Основні функції управління** [134; 158]:

**1. Стратегічне планування** – це сукупність рішень і дій, які забезпечують розробку конкретних стратегій, практична реалізація яких забезпечує можливість досягнення поставленої мети.

**Стратегія** – це детальний, усесторонній, комплексний план зі здійснення загальної мети (місії) організації, який розбивається на визначені календарні періоди (наприклад, на роки).

Якщо стратегія позначає далеку перспективу, то **тактика** – це перспектива теперішнього моменту.

Звідси, вибір стратегії є вибором напряму руху до загальної мети, а вибір тактики – це вибір дій на даний момент часу.

**Політика організації** – це розробка стратегії, планів і програм розвитку організації, визначення курсу, тобто загальне керівництво щодо дій й ухвалення рішень.

**2. Планування реалізації стратегії**, яке складається з таких взаємозалежних етапів:

- 1) встановлення цілей і завдань;
- 2) розробка чи вибір стратегії, програми і плану;
- 3) розробка чи вибір тактики.

**3. Організація взаємодій і повноважень.**

**4. Побудова організації.**

**5. Мотивація** – це дія на психологію людини певними чинниками, внаслідок якої у неї виникає бажання результативно працювати. Такими чинниками є заробітна плата, матеріальна винагорода, матеріальні та моральні стимули тощо.

**6. Управління поточною діяльністю** організації (оперативне управління), до якого відноситься управління трудовими, матеріальними та фінансовими ресурсами, управління виробництвом, управління продуктивністю, управління системою якості, оперативне керівництво (розпорядження, координація, контроль, висновки та рішення).

**7. Контроль** – це процес свідомого, постійного і повсюдного спостереження за забезпеченням досягнення мети або кінцевих результатів діяльності організації. Основними завданнями контролю є якісна і кількісна оцінка результатів діяльності організації, застереження і своєчасне виявлення помилок і порушень в організації та ухвалення на основі цього контрзаходів, що знімають недоліки в управлінні та виробництві.

Таким чином, в загальному випадку при управлінні, як цілеспрямованому процесу, можуть реалізовуватися наступні **функції**: планування, організація (як процес), аналіз, регулювання, облік, контроль та стимулювання.

При цьому організації розглядаються як відкриті системи, в яких здійснюється зв'язок між “входом” системи (цілі, норми, ресурси) і “виходом” системи, який характеризує ступінь досягнення заданої мети. “Вихід” системи може бути представлений двома результатами:

- 1) корисні продукти (вироби, товари, послуги, знання);
- 2) управлінське рішення.

**Управлінське рішення** – це вибір альтернативи, тобто вибір з безлічі можливих варіантів вирішення конкретної проблеми одного варіанта.

До основних **складників процесу управління** відносяться елементи спрямованого ланцюгу:

**Основні складники процесу управління: мета діяльності ⇒ ситуація ⇒ проблема ⇒ вирішення проблеми.**

До основних **стадій процесу управління** відносяться такі:

**Основні стадії процесу управління: цілепокладання ⇒ інформаційна робота ⇒ аналітична робота ⇒ вибір варіанта дій ⇒ організаційно-практична робота.**

До основних *задач управління* відносяться такі:

1. Цілепокладання – визначення необхідного стану та поведінки системи.
2. Стабілізація – утримання системи в існуючому стані в умовах збурюючих дій.
3. Виконання програми – перевід системи в необхідний стан в умовах, коли значення керованих змінних змінюються за відомими детермінованими законами.
4. Стеження – утримання системи на заданій траєкторії (забезпечення необхідної поведінки) в умовах, коли закони поведінки керованих величин невідомі або змінюються.
5. Оптимізація – утримання або переведення системи в стан з екстремальними значеннями параметрів при заданих умовах й обмеженнях.

Управління є цілеспрямована діяльність. Якщо термін “організація” застосовується не в сенсі організації, як системи, а в сенсі організації, як процесу, то в загальному випадку можуть реалізуватися ряд *функцій*, серед яких основні набрані курсивом:

- *мотивація*;
- прогнозування;
- *комунікація*;
- дослідження (зокрема, аналіз);
- *перспективне планування* (встановлення цілей і завдань ⇒ розробка і вибір стратегії, програми і плану ⇒ розробка і вибір тактики ⇒ підготовка та прийняття управлінського рішення);
- *організація* (як процес);
- *управління, або керівництво* (зокрема, розпорядження);
- регулювання;
- облік;
- *контроль*;
- координація;
- оцінювання;
- *ухвалення (прийняття) рішень*;
- стимулювання.

Зазначимо, що представник класичної (адміністративної) школи управління, французький теоретик і практик менеджменту Анрі Файоль (1841-1925) сформулював 14 знаменитих універсальних принципів управління підприємством, виділив серед етапів (фаз) управління таку фазу, як перспективне планування. Управління за А. Файолем означає планувати, організовувати, віддавати розпорядження, координувати і контролювати.

Для менеджменту середньої ланки *основними функціями* прийнято вважати такі:

- розробка;
- створення;
- управління;
- контроль.

Таким чином, управління складається з ланцюга реалізації управлінських функцій. Іншими словами, *управління* – це послідовність безперервних



взаємопов'язаних дій. До основних послідовних етапів управління відносяться такі [158]:

**Послідовні етапи управління: Планування ⇒ Прийняття рішень ⇒  
Реалізація рішень ⇒ Контроль ⇒ Аналіз відхилень**

Основою, власне, *процесу управління*, його першою стадією є *прийняття управлінського рішення* (прийняття рішення), яке ґрунтується на інтуїції, на “здоровому глузді” (накопиченому досвіді особи, яка приймає рішення), на відомому алгоритмі, на науково-практичному підході, який передбачає вибір оптимального рішення із множини можливих.

Вказані методи прийняття рішення можуть реалізувати такі *функції управління*, як *цілепокладання, прогнозування та планування*.

Відзначимо, що **цілепокладання** базується на *пошуковому підході* (при початкових умовах визначається множина цілей діяльності), **планування** – на *нормативному підході* (при вибраних цілях здійснюється пошук альтернатив та засобів їх досягнення), а **прогнозування** може бути як *пошуковим так і нормативним* (визначаються можливі стани об'єкта прогнозування в майбутньому і визначаються шляхи і терміни досягнення можливих станів об'єкта прогнозування в майбутньому, які приймаються як цілі). Це пов'язано з тим, що прогноз будується за різними критеріями, причому “основоположний є проблемно-цільовий критерій: для чого розробляється прогноз” [172, с. 10].

Другою стадією соціального управління є *реалізація прийнятого рішення*, яка складається з функцій організації (процес взаємодії суб'єктів діяльності в аспекті перетворення отриманих ресурсів в необхідний продукт), координації та регулювання, а також з активізації та стимулювання.

Третя стадія соціального управління є *контроль* – це процес свідомого, постійного і повсюдного спостереження за забезпеченням досягнення мети або кінцевих результатів діяльності організації [158].

Контроль лежить в основі механізмів управління, дозволяє виявити проблеми, які виникають в організації, своєчасно стабілізувати ситуацію та стимулювати успішну діяльність.

Контроль поділяється на три види [158]:

1. **Попередній контроль** у сфері людських ресурсів здійснюється при наборі та підборі кадрів, їх відповідності вимогам виконуваної роботи або посади. Попередній контроль у сфері матеріальних ресурсів передбачає їх відповідність встановленим або розробленим стандартам, які визначають мінімально допустимі *межі якості* та проведення фізичних, хімічних або механічних перевірок відповідності матеріалів вимогам стандарту. Попередній контроль у сфері фінансових ресурсів здійснюється на базі бюджету організації, тобто планових показників доходів і витрат організації.
2. **Поточний контроль** здійснюється у процесі виробництва й управління організацією. Це контроль дотримання технології виробництва, якості схвалюваних рішень, контроль реалізації рішень тощо.

3. **Заключний контроль** – це контроль якості виконаної роботи або отриманого результату (зокрема, це контроль *якості продукції*).

Процедура контролю має три чітко розрізнявальних *етапи* :

- 1) вироблення стандартів, критеріїв і підходів до вирішення проблеми;
- 2) зіставлення з ними на кожному етапі проблеми реальних результатів;
- 3) ухвалення необхідних корегувальних дій (усування відхилень реальних результатів від допустимих, тобто *стандартних меж* або перегляд стандартних меж).

Зауважимо, що для реалізації вищеназваних функцій застосовуються такі наукові підходи, як системний, процесний, ситуаційний, поведінковий та кількісний.

### 1. Системний підхід в управлінні

Основоположник системного підходу Л. фон Берталанфі. Системний підхід у менеджменті почав застосовуватися з кінця 50-х рр. ХХ ст. У галузі менеджменту системний підхід розробляли П. Дракер, Т. Пітерс, Р. Паскаль, Г. Саймон та ін. Завдяки дослідженням цих вчених підприємства (організації, установи, фірми, концерни тощо) розглядають як цілісні утворення, функціонування (діяльність) й розвиток яких залежить від поставлених цілей, наявних ресурсів та реалізації планів.

*Системний підхід (systems approach) – це методологічний напрямок у науці, який базується на системному мисленні, завдання якого полягає в розробленні методів дослідження і проектування (конструювання) складноорганізованих систем різних класів і типів.*

Вихідним положенням системного підходу є поняття *мети*, наявність якої є найважливішою ознакою організації, що розглядається як система.

Системний підхід розглядає управління, як прояв інформаційної взаємодії керуючої системи та об'єкта управління (керування), тобто розглядає керівну та керовану підсистему як цілісний комплекс взаємопов'язаних та об'єднаних спільною метою елементів, що дозволяє виявити властивості організації як системи.

**ДВ**→ Необхідність системного підходу для управління підприємством можна зрозуміти, розглянувши два аспекти роботи керівника.

По-перше, він прагне домогтися інтегральної ефективності роботи своєї організації і не допустити, щоб окремі інтереси якого-небудь одного активного елемента організації пошкодили загальному успіху.

По-друге, він повинен домагатися цього в умовах організаційного середовища, яка завжди створює суперечливі цілі діяльності.



За визначенням **Рассела Лінкольна Акоффа (1919-2009)**, – американського вченого в галузях дослідження операцій і теорії систем, – системний підхід в управлінні ґрунтується на тому, що будь-яка організація являє собою систему, що складається з частин, кожна з яких має свої власні цілі. Керівник при прийнятті управлінських рішень повинен виходити з того, що для досягнення загальних цілей організації, необхідно розглядати її як єдину систему. При цьому слід виявити й оцінити взаємодію всіх її частин й об'єднати їх на такій основі, яка дозволить організації в цілому ефективно досягти її цілей [5].

Наявність такого складного елемента об'єкта управління, як людини, спричиняє до *першої причини складності управління* – складність керованої системи. Ця складність виражається в багатьох чинниках, зокрема в наявності суперечливих цілей діяльності, стохастичності поведінки активних елементів, динамічності відношень і зв'язків між ними, великому числу станів організаційної системи.

Розглянутий раніше фундаментальний принцип управління У. Ешбі показує, що хоча б в крайньому випадку рівень різноманітності керуючої системи повинен відповідати рівню різноманітності керованої системи. Звідси, зокрема, випливає, що неможливо створити просту систему управління для управління складними системами і процесами.

Із вище сказаного випливає, що суб'єкти управління не в змозі впоратися з проблемами, складність яких перевищує деякий певний рівень і розробити адекватну стратегію, тобто комплексний план зі здійснення загальної мети (місії) організації.

**Другою причиною складності управління є ситуаційні зовнішні змінні (чинники) прямої і непрямой дії [158].** Ситуаційні зовнішні змінні прямої дії – це споживачі, постачальники, конкуренти, інфраструктура, законодавчі акти, державні органи влади, профспілки, партії та громадські організації, система економічних відносин у суспільстві. На відміну від вказаних змінних, *ситуаційні змінні непрямой дії* впливають на діяльність організації не безпосередньо, а через певні механізми і взаємовідносини. Основними з них є такі: міжнародні відносини (у т. ч. економічні), політичні обставини, стан національної економіки, науково-технічний прогрес, соціально-культурні обставини тощо.

**Третьою причиною складності управління є рухливість зовнішнього середовища** – це величина швидкості змін чинників зовнішнього середовища, яка прямо пропорційна ступеню складності вирішення виникаючих перед організацією проблем. Це ускладнюється тим, що зростання швидкості призводить до зменшення тривалості “життя” знайдених рішень проблем. Зокрема, до моменту, коли рішення вже знайдено ситуація може змінитися і потрібно принципово нове рішення.

**Четвертою причиною складності управління є невизначеність зовнішнього середовища** або окремих його факторів і (або) чинників у певний момент часу через недостатню кількість інформації, стохастичність і нечіткість функціонування середовища.

На діяльність організації впливає зовнішнє середовище як прямої дії (Е. Елбінг), так і непрямой дії (М. Мескон). До чинників впливу середовища відносять, в першому випадку, постачальників, трудові ресурси, споживачів, конкурентів, закони й установи державного регулювання, а у другому випадку – стан економіки, науково-технічного прогресу, виробничих технологій, міжнародного середовища, політики, соціальної культури та групові інтереси.

Як протидія зовнішньому середовищу організація виробляє **реакцію**, щоб зменшити та стабілізувати цей вплив (негативний зворотний зв'язок) або організація використовує ресурси зовнішнього середовища для підсилення процесів функціонування (управління, прийняття рішень, промислового виробництва і т. д.) – дія позитивного зворотного зв'язку.

Окрім впливу на організацію з боку середовища (метасистеми, надсистеми) діють збурення (флуктуації), які за М. Месконом обумовлені такими характеристиками [134]:

1. Взаємозв'язністю факторів і чинників зовнішнього середовища.
2. Складністю зовнішнього середовища, його рухливістю (швидкістю зміни надсистеми).
3. Невизначеністю зовнішнього середовища, яка має наступні види:
  - 1) невідомість (недостатність інформації);
  - 2) випадковість, стохастичність (імовірнісний характер) явищ і подій;
  - 3) нечіткість, розпливчатість (в сенсі теорії нечітких множин Л. Заде). ◀

Нехай організаційна система складається з об'єкта управління і з суб'єктів управління (керівника організації та його замісників), які керуючими діями  $u(t) \in U$  впливають на працівників організації (на об'єкт управління). Система забезпечується ресурсами  $z \in Z$  і на неї діє збурення  $\lambda(t)$  з боку довкілля  $w \in W$  (рис. 4.10).

Результат функціонування та розвитку (поведінки) організації є вихідна змінна  $y \in Y$ , яка представляє корисні продукти або управлінські рішення.

Об'єкт управління є динамічною системою, яка подається на упорядкованій множині моментів часу  $T$  і множині станів  $X$  об'єкта управління, множині

дискретних значень ресурсів  $Z$ , які надходять, множини  $U$  миттєвих значень  $u(t)$  вхідних управлінських дій і множини миттєвих значень  $y(t)$  вихідних змінних  $Y$ .

Розглянемо відображення

$$H: T \times X \rightarrow Y, \quad (4.17)$$

для якого існує перехідна функція стану  $\Phi$ , де  $Y$  – вектор множини значень  $y_i, i = \overline{1, n}$  вихідних змінних [ $Y = Y(y_1, y_2, \dots, y_n)$ ].

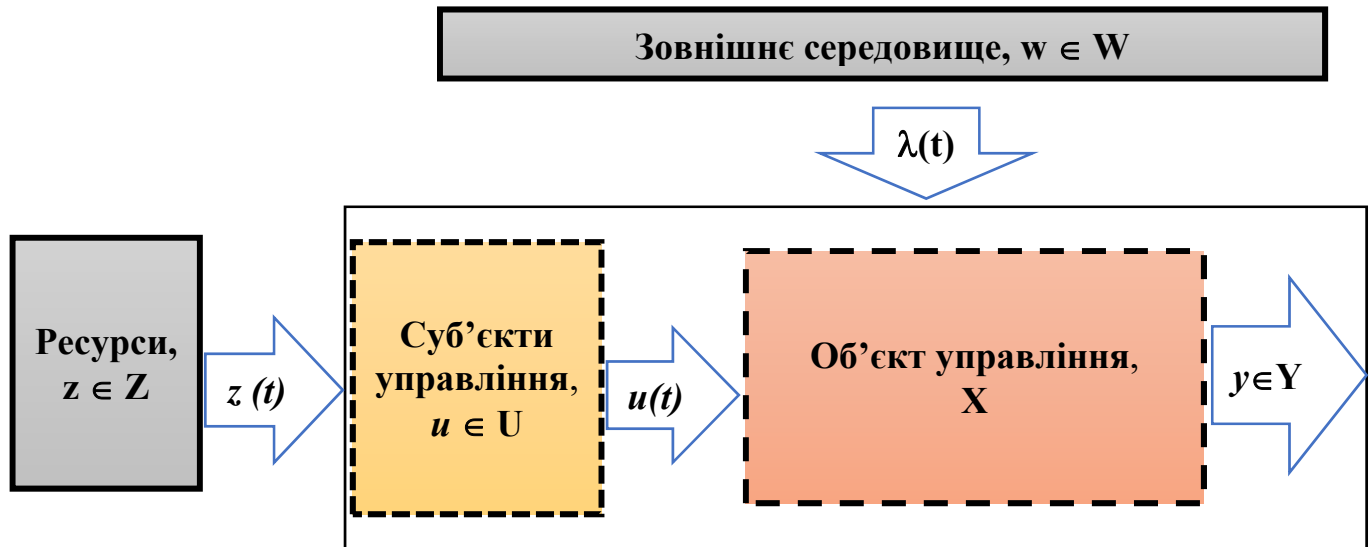


Рис. 4.10. Модель управління в організаційній системі, яка складається з суб'єктів управління  $u \in U$  і об'єкта управління  $X$

Математичне поняття організаційної системи можна зобразити кортежем:

$$\langle X, U, Z, W, Y, \Phi, T \rangle. \quad (4.18)$$

Таким чином, **управління** – особлива функція складних організаційних систем, яка спрямована на збереження її основної якості (тобто сукупності властивостей, втрата яких призводить до руйнування системи), або на виконання деякої програми, що забезпечує стійкість функціонування системи і досягнення нею певної мети.

Очевидно, управління дозволяє кардинальним чином зменшити коливання параметрів системи, які вельми значні в системах з гомеостазом або з саморегулюванням. Це означає, що управління є ускладнений спосіб забезпечення стійкості.

## 2. Процесний підхід в управлінні

Процесний підхід вперше запропонований прихильниками школи адміністративного управління, які намагалися визначити функції менеджменту.

Нині процесний підхід визначає розгляд діяльності будь-якої організації як мережі **бізнес-процесів**, пов'язаних з цілями та місією цієї організації. Управління бізнесом розглядається не як управління сукупністю окремих функцій, але як

сукупність бізнес-процесів, які визначають суть діяльності організації (наприклад, компанії).

**Процесним підходом** називають систематичне визначення процесів та їх взаємодій в організації, а також управління ними [68].

Часто вихід одного процесу безпосередньо є входом наступного процесу. Для ефективного функціонування організації необхідно визначати взаємопов'язані та взаємодійні процеси та управляти ними.

Процесний підхід розглядає управління як процес реалізації управлінських і виконавчих функцій (процесів), кожен з яких складається з серії взаємопов'язаних дій по досягненню поставлених цілей і завдань. Зокрема, це процеси планування, організації, мотивації, контролю, комунікації, ухвалення рішень та інших дій, спрямованих на досягнення загальної мети організації.

**Керівництво (лідерство)** розглядається як самостійна діяльність, що передбачає можливість впливу на окремих працівників (на групу працівників, на виробничий колектив) таким чином, щоб вони працювали в напрямку досягнення цілей, що необхідно для досягнення успіхів організації.

Відповідно до стандарту ДСТУ ISO 9001: 2015, *будь-яку діяльність або комплекс видів діяльності, для яких використовують ресурси для перетворення входів на виходи, можна розглядати як процес*. Установлені в цьому стандарті вимоги до системи управління якістю доповнюють вимоги до продукції та послуг [69].

Цей стандарт сприяє прийняттю процесного підходу під час розроблення, запровадження та поліпшення результативності системи управління якістю, для підвищення задоволеності замовника виконанням його вимог. Розуміння та керування взаємопов'язаними процесами, як системою, сприяє результативності та ефективності організації в досягненні її запланованих результатів.

Процесний підхід дає змогу організації контролювати взаємозв'язки та взаємозалежності процесів системи з тим, щоб уможливити підвищення загальної дієвості організації [68].

У стандарті ДСТУ ISO 9001: 2015 використано **процесний підхід**, елементами якого є **цикл** “Plan-Do-Check-Act” (PDCA) (“Плануй – Виконуй – Перевірйай – Дій”) та ризик-орієнтоване мислення.

Цикл PDCA може бути застосовано до всіх процесів і до системи управління якістю в цілому. При цьому:

- ❖ **Процесний підхід** дає змогу організації планувати свої процеси та їхні взаємодії.
- ❖ **Цикл PDCA** дає змогу організації забезпечувати впевненість у тому, що її процеси адекватно забезпечені ресурсами та керовані і що можливості для поліпшення визначено та зреалізовано.
- ❖ **Ризик-орієнтоване мислення** дає змогу організації визначати чинники або (і) фактори, які можуть спричинити відхилення її процесів та її системи управління якістю від запланованих результатів, щоб установлювати запобіжні заходи контролю для зменшення негативних впливів і якнайбільшого використання можливостей, у міру їх виникнення.

Процесний підхід передбачає систематичне визначання процесів і їх взаємодій та керування ними з тим, щоб досягати запланованих результатів відповідно до політики у сфері якості та стратегічного напрямку організації.

Управління процесами та системою в цілому може бути досягнене використанням циклу PDCA за загальної зосередженості на ризик-орієнтованому мисленні, націленому на використання можливостей і запобігання небажаним результатам.

Застосування процесного підходу в межах системи управління якістю уможлиблює:

- розуміння та постійне задоволення вимог;
- розглядання процесів з погляду створення додаткових цінностей;
- досягнення результативного функціонування процесів;
- поліпшування процесів на основі оцінювання даних та інформації.

**ДВ** → Цикл PDCA може бути стисло описано так:

- ❖ **Плануй:** установлюй цілі системи та її процеси, а також ресурси, потрібні для отримання результатів відповідно до вимог замовників і політики організації, а також ідентифікуй і розглядай ризики та можливості.
- ❖ **Виконуй:** упроваджуй те, що заплановано.
- ❖ **Перевірй:** здійснюй моніторинг і, де можна застосувати, вимір (оцінюй) процеси та отримані в результаті продукцію та послуги, зважаючи на політику, цілі, вимоги та заплановані роботи, а також звітуй про результати.
- ❖ **Дій:** уживай заходів для поліпшування дієвості, результативності.

**Ризик-орієнтоване мислення** суттєво важливе для досягання результативної системи управління якістю. Поняття “ризик-орієнтоване мислення” було нечітко наявним у попередніх виданнях стандарту ДСТУ ISO 9001, охоплюючи, наприклад, виконання запобіжних дій для усунення потенційних невідповідностей, аналізування будь-яких невідповідностей, що виникають, і вжиття заходів для запобігання їх повторному виникненню, які є належними до наслідків невідповідності.

*Ризик – це вплив невизначеності, а будь-яка невизначеність може мати позитивний чи негативний впливи.*

Позитивний відхил, зумовлений ризиком, може забезпечувати певну можливість, але не всі позитивні впливи ризику ведуть до можливостей.

Щоб забезпечити відповідність вимогам цього стандарту, організація має планувати та виконувати дії щодо розглядання ризиків і можливостей. Розглядання як ризиків, так і можливостей становить основу для підвищення результативності системи управління якістю, досягання поліпшених результатів і запобігання негативним впливам.

Можливості можуть утворюватися як наслідок ситуації, сприятливої для досягання запланованого результату, наприклад, сукупність обставин, які дають змогу організації приваблювати замовників, розробляти нову продукцію та послуги, зменшувати відходи чи поліпшувати продуктивність. Дії стосовно можливостей можуть також охоплювати розглядання пов’язаних ризиків.

Впровадження процесного підходу в організації, зокрема в компанії, розбивається на декілька етапів, серед яких належить виділити такі:

- ✓ Етап 1. Виявлення мережі бізнес-процесів компанії.
- ✓ Етап 2. Бізнес-процеси упорядковуються (піддаються процедурі ранжування) за значимістю, документуються і моделюються за принципом “ЯК Є” (“AS IS”).
- ✓ Етап 3. Аналіз побудованих моделей і виявлення “вузьких місць” процесів.

Етап 4. На підставі отриманих результатів будуються моделі за принципом “ЯК ТРЕБА” (“HOW TO NEED”). При цьому, дотримуються тієї ж послідовності дій, що у випадку з моделями “ЯК Є” (“AS IS”). ◀

Процесний підхід в управлінні популярність здобув лише порівняно недавно в умовах високої динаміки зовнішнього середовища, конкуренції та відповідної необхідності підвищення гнучкості бізнесу, скорочення часу реакції на зміни ринку і зовнішнього середовища, поліпшення результатів діяльності організації. Цей підхід вдало доповнює системний підхід, який розглядає організацію як сукупність взаємопов'язаних елементів, орієнтованих на досягнення різних цілей на тлі мінливих зовнішніх умов, а також ситуаційний підхід, який стверджує, що застосування тих чи інших методів управління визначається ситуацією.

### **3. Ситуаційний підхід в управлінні (СПУ)**

Ситуаційний підхід є логічним продовженням теорії систем. Центральним моментом ситуаційного підходу є *ситуація*, тобто конкретний склад обставин, які в значній мірі впливають на підприємство (організацію) в даний момент.

Ситуаційний підхід розглядає відношення між підсистемами організації та метасистемою як динамічні, тобто такі, які залежать від часу.

Збурення, які діють на організаційну систему, призводять до зниження ефективності її функціонування та розвитку, створюють проблеми з управлінням, які отримали назву "*управлінські ситуації*". Кількісною мірою невизначеності таких ситуацій є ентропія.

Управлінські ситуації можуть бути *стандартні* (часто повторювані) або *нестандартні*.

Очевидно, другий вид ситуацій створює проблеми (проблемні ситуації), які повинні бути вирішені менеджерами. Чим більш змінне середовище, тим більш гнучкою повинна бути організація для прийняття адекватних і своєчасних управлінських рішень.

Поняття "*ситуація*" (від лат. *situatio* – положення, обстановка) – це сукупність відношень між необхідністю і можливістю виникнення і розвитку процесів; поєднання умов і обставин, що створюють певну обстановку, стан.

Під поняттям "*ситуація*" розуміється:

- певний стан розглянутої системи та середовища її функціонування, що характеризується апріорі встановленими інтервалами значень показників системи та функціональних характеристик середовища (М.З. Згуровський, Н.Д. Панкратова);
- сукупність або конкретний набір обставин, які впливають на функціонування організації у певний період часу (В.Г. Федоренко);
- діяння і збурення, які створюють проблеми і являються причиною виникнення процесів управління (М.М. Мартиненко).

Здійснимо декомпозицію ситуації  $S$  на  $n$  класів підситуацій (обставин, *circumstances*,  $C_i$ ,  $i = \overline{1, n}$ ), які можливо ідентифікувати. Отримаємо множину  $E$  – множина розбиття  $S$  на класи підситуацій. Якщо  $G$  – множина ідентифікаторів вказаних класів, то *модель ситуації* ( $M$ ) має вигляд:

$$M = \langle S, E, G \rangle, S = \sum_{i=1}^n C_i. \quad (4.19)$$



Вказане поняття лежить в основі *ситуаційної теорії управління* (СТУ), яка вивчає залежність ефективності методів управління від того, в якій ситуації знаходиться організація, яка застосовує їх.

Ядром СТУ є *ситуаційний підхід*, який стверджує, що *придатність різних методів управління визначається конкретною ситуацією*.

Найефективнішим у конкретній ситуації буде мати метод, який найбільш відповідає ситуації. Очевидно, що методи і засоби управління будуть максимально ефективні (в сенсі досягнення поставлених цілей) за умови, якщо вони адекватні наявній та очікуваній ситуаціям.

Опис можливих дій, які необхідно вчинити в конкретній ситуації – це *процедура*, а точне визначення того, що повинно бути зробленим у конкретній ситуації – це *правило*.

Основою ситуаційного підходу є положення про те, що за детермінованих умов в організаційній системі не існує оптимального (найкращого) варіанта розв'язання практичного завдання чи теоретичної задачі (вибору альтернативи, досягнення мети, прийняття рішення, управління тощо), а тільки *ефективні (раціональні) варіанти*, названі *множиною Парето*. Вказані варіанти мають таку властивість, що покращити значення цільової функції якогось варіанта (суб'єкта) можна тільки за рахунок інших варіантів (суб'єктів). Множина Парето є аналогом закону збереження в фізиці.

Зокрема, Парето-ефективність господарської системи – це стан, при якому неможливо збільшити ступінь задоволення потреб хоча б однієї людини, не погіршуючи при цьому становище інших працівників організації.

Зазначимо, що ситуаційний підхід доповнює системний: якщо системний підхід має відносно велику методологічну загальність, то ситуаційний підхід – конкретність і наближеність до практичних проблем.

Висловлюючись терміном “*парадигма*”, який увів американський філософ Томас Кун (1922-1996), нова парадигма управління організацією заснована на поєднанні системного і ситуаційного підходів (*парадигма* – зразок, модель постановки наукових проблем і їх рішень).

**ДВ**→ “Ситуаційність” означає, що дії людей визначаються контекстом, в якому ці дії здійснюються. Це означає, що модель управління може бути ефективною в одному контексті виду ситуації, в якій знаходиться організація, і не давати очікуваних результатів в іншому.

**Примітка.** *Контекст* (лат. *contextus* – тісний зв'язок, сплетіння) – відрізок, частина тексту писемної чи усної мови з закінченою думкою, який дає змогу точно встановити значення окремого слова чи виразу, що входять до його складу. У ширшому значенні контекст – середовище (предметна галузь, предметна область) в якому існує досліджуваний об'єкт. Цей термін не потрібно ототожнювати з терміном “*контент*”, який означає будь-який вид інформації, що становить зміст інформаційного ресурсу: текст, зображення (графіка), аудіо файли, відео тощо. Якість контенту визначається користувачами за допомогою наявності двох ключових параметрів: логічна побудова й унікальність.

Оскільки існує велика кількість чинників і (або) факторів та їх поєднань, що визначають ситуацію, як в самій організації, так і в навколишньому середовищі, тому не існує єдиного для всіх “кращого” способу (методу) управління організацією. *Найефективнішим методом у конкретній ситуації є такий метод, який найбільше відповідає даній ситуації*. При цьому, *оптимальне рішення* є функція чинників внутрішнього середовища в самій організації (*внутрішні змінні*) і чинників та факторів навколишнього середовища (*зовнішні змінні*).



Таким чином, СТУ стверджує, що не може бути єдиного універсального набору принципів менеджменту, однаково ефективних завжди і всюди, тому що в різних умовах кращі результати приносить використання різних стратегій. Коли прихильників СТУ запитують про правильні способи вирішення якого-небудь організаційного завдання, то їх відповідь починається зі словосполучень: “це залежить від ...” і “якщо ..., то ...”.

Роль ситуаційного підходу для менеджера така:

- менеджер повинен правильно інтерпретувати ситуацію, визначати домінуючі чинники і (або) фактори в даній ситуації;
- менеджеру треба визначити, які значущі можливі ситуації, як вони впливають на ефективність діяльності організації та який імовірний ефект може спричинити за собою зміна однієї або декількох ситуацій;
- керівники повинні розбиратися в тих прийомах, застосування яких сприяють досягненню цілей організації в конкретній ситуації;
- менеджер повинен уміти відбирати конкретні прийоми управлінської діяльності, які викликають найменший негативний ефект для конкретних ситуацій, тим самим забезпечуючи досягнення цілей організації найефективнішим і мінімально ризиковим шляхом;
- менеджер повинен бути знайомий із засобами професіонального управління, які довели свою ефективність ( йдеться від терміну “професіонал” );
- менеджер повинен уміти передбачати ймовірні наслідки (як позитивні, так і негативні) від застосування даної методики чи концепції в конкретній ситуації. ◀

Зазначимо, що для складних організаційних систем важливу роль відіграє **ситуаційне управління**. При наявності *нестандартної ситуації* керуюча підсистема (суб’єкт управління) перетворюється в підсистему ситуаційного управління.

Поняття “ситуаційне управління” вперше було введено у науковий обіг американським вченим Р. Моклером (R. J. Mockler). Він запропонував досить чітку схему динамічного аспекту ситуаційного підходу [232]:

- діагноз ситуації і визначення шляхів (альтернатив) досягнення мети;
- виявлення об’єктивних факторів і суб’єктивних чинників, що впливають на рішення;
- формування й оцінювання альтернатив;
- розробка тактики реалізації рішення.

Якщо ситуація зовнішнього середовища змінюється з часом, то виникають **проблеми**, для вирішення яких Р. Акофф пропонує систему, яка об’єднує три основні функції [5]:

- розпізнавання і передбачення проблем;
- прийняття рішень з певної проблеми;
- управління реалізацією рішень.

Очевидно, що проблемна орієнтація управління пов’язана з необхідністю застосування гнучких, мобільних (рухливих) й адаптивних організаційних форм управління. При чому, як показав Ю. Єкатеринославський, кожному типу конкретної ситуації, яка виникає у виробничій організації, повинна відповідати своя послідовність процедур управління з її інформаційним забезпеченням, специфічні форми взаємодії елементів організації, свої критерії та методи прийняття рішень, а також свої об’єкти реалізації управлінських дій [77].

Таким чином, **суть ситуаційного підходу** полягає у виборі або побудові тих зв’язків системи управління, які орієнтовані на ефективні способи вирішення проблемних ситуацій, за яких мінімізується *ризик в управлінні*, тобто різниця між

очікуваним ефектом при виборі альтернатив в умовах невизначеності та оптимального вибору, якщо б ці умови були строго визначені.

Як відзначають Г. Кунц і О'. Доннел [122], *ефективне управління – це завжди управління за обставинами, або ситуаційне управління*. Автори запропонували класифікацію управління за такими функціями: планування, організація, керівництво, лідерство, комплектування штатів, контроль.

Хоча системи ситуаційного управління не завжди можуть оптимізувати сам процес управління, як зазначає Д.О. Поспелов [167], проте вони дозволяють уникнути випадкових, вольових, необґрунтованих і ризикованих рішень.

#### **4. Поведінковий підхід в управлінні**

Концепція управління з позицій науки про поведінку розроблялася такими вченими, як:

- ✓ Американський психолог Кріс Арджирис (1925 р. н.), який досліджував ефективність адміністративних структур, їх здатність знаходити та виправляти помилки діяльності. Експериментально довів, що працівники чинять опір переходу від автоматичного, безпроблемного, соціально інертного існування до свідомої, рефлексивної поведінки в умовах невизначеності та загрози (тенденція опору навчанню).
- ✓ Американський соціальний психолог Дуглас Мак-Грегор (1906-1964) розробив концепцію управління персоналом і поведінки працюючих, яка складається з трьох “теорій”: X, Y і Z.
- ✓ Фредерік Герцберг (1923-2000) – американський клінічний психолог, який отримав велику популярність в сфері менеджменту завдяки своїй мотиваційно-гігієнічній, або “двохчинниковій” теорії. Його термін “підвищення розмаїття праці” підкреслює те, що позитивні мотивуючі чинники є атрибутом праці. Дослідження Герцберга були присвячені становищу працівника в організації та ставлення людини до своєї роботи.

**ДВ**→ Коротко розглянемо суть концепцій Мак-Грегора і Герцберга.

*Теорія X* стверджує, що працівники мають вроджену схильність до лінощів й уникають роботи за найменшої можливості. Як наслідок цього, виникає необхідність ретельного контролю над працівниками, а головним мотиватором до праці є гроші. Ефективне покарання працівників, зокрема робітників, здійснюється за принципом “гарячої плити”, який складається з п'ятих правил:

1. **Невідворотність.** Покарання має негайно слідувати проступку, оскільки обпікшись людина відсмикує руку негайно. При цьому керівник повинен вичікувати підходящого моменту. Підлеглий може сприйняти покарання як несправедливість, оскільки не розумітиме за що конкретно його було покарано.
2. **Суттєвість.** Керівники намагаються пом'якшити покарання з огляду на те, що помилку було вчинено вперше. Таким чином, з кожним наступним випадком міра покарання зростатиме і процес виховання підлеглого перетвориться на привчання до покарань. Щоб запобігти цьому слід застосовувати однакову міру покарання незалежно від того в який раз було допущено помилку, оскільки плита обпікає щоразу однаково.
3. **Локальність.** Покарання має відповідати обсягу проступку і виходить лише з нього, оскільки плита опікає лише руку, яка її торкається, а не все тіло. Керівники іноді залишають без уваги деякі проступки своїх підлеглих, проте “виливають” в момент накопичення критичної маси на підлеглого весь негатив за всі його неправильні дії та помилки.

4. **Всеохоплюваність.** Не повинно бути так, що одних карають, а інші уникають покарання. Для цього слід виносити покарання за однакові проступки в однаковій мірі, оскільки плита обпікає кожного, хто її торкнеться.
5. **Альтернативність.** Керівнику не потрібно занадто захоплюватися критикою негативного вчинку підлеглого і не забувати про необхідність вказати на правильний вихід з подібної ситуації. Це необхідно робити, оскільки обпикшись одного разу, людина запам'ятовує як цьому запобігти в майбутньому.

**Теорія Y** стверджує, що деякі працівники отримують задоволення від своїх обов'язків, пов'язаних як з розумовою так і з фізичною працею. При цьому вони мають амбіції та внутрішні стимули, прагнуть взяти на себе більше відповідальності і здійснювати самоконтроль та самоуправління. З огляду на це, керівник повинен створити таку гнучку систему, яка усуває перешкоди для розкриття потенціалу працівників, в якій мотиватором переважно виступає задоволення від виконаної роботи, а не матеріальна винагорода, а пріоритетом є можливості для розвитку працівників, а не правила.

**Теорія Z** стверджує, що індивідуальні інтереси працівника повинні бути пов'язані з інтересами організації. Подробиці цієї теорії сформулював Вільям Оучі – учень Мак-Грегора, який виклав основи японського стилю менеджменту, де як основні елементи виступали довічний найм на роботу, турбота про життя співробітників (в тому числі й соціальне), прийняття рішень на основі консенсусу, повільне кар'єрне зростання, добре налагоджені комунікаційні канали, вірність компанії і турбота про високу якість продукції.

**“Двохчинникова”, або мотиваційно-гігієнічна теорія** стала підсумком опитування двохсот інженерів і бухгалтерів в Піттсбурзі в кінці 1950-х років. Ця теорія прославила ім'я Фредерік Герцберга. Результати опитування показали, що позитивні моменти, про які розповіли респонденти, не суперечили негативним. З цього він зробив висновок, що на трудову діяльність впливають два типи чинників, які відповідають двом рівням потреб людини

1. Нижчий рівень (тваринні потреби), які полягають у прагненні уникати болю і страждань. Це співпадає з умовиводом французького філософа-просвітника Жан-Жака Руссо (1712-1778), який залишив нам такий афоризм: *“Щастя природної людини таке ж є просте, як і його життя: воно пов'язано з відсутністю страждань; здоров'я, свобода, добробут в необхідному – ось в чому воно полягає”*.
2. Вищий рівень (власне людські потреби) – психологічне зростання.

Нижчому рівню відповідає група потреб, яким Ф. Герцберг присвоїв назву **“гігієнічні чинники”**. Ці потреби проявляються в залежності від контексту або умов, в яких людина працює. Згідно з Герцбергом, за відсутності або недостатньому ступені наявності гігієнічних чинників у людини виникає незадоволення роботою. Однак, якщо ці чинники достатні, то самі по собі не викликають задоволення роботою і не можуть мотивувати людину на що-небудь. У першу чергу вони служать для того, щоб попередити незадоволеність.

До **гігієнічних чинників** відносяться чинники, які можуть викликати незадоволеність, а саме:

- умови праці;
- безпека праці, ризик;
- ступінь безпосереднього контролю за роботою;
- міжособистісні стосунки з керівництвом, колегами та підлеглими;
- статус працівника;
- політика компанії (фірми) та її адміністрації;
- оплата праці.

Вищому рівню відповідає група потреб, яким Ф. Герцберг присвоїв назву **“мотиватори”**, або чинники психологічного зростання. До них відносяться чинники, які сприяють отриманню задоволення від процесу праці, а саме:

- зміст праці;
- визнання та схвалення результатів роботи;
- високий ступінь відповідальності;

- матеріальні та моральні стимули;
- можливості професійного, ділового і творчого зростання;
- просування по службі;
- досягнення та успіхи.

Таким чином, назву “гігієнічні чинники” і “мотиватори” – це дві групи чинників, які відносно незалежні одна від одної, проте не є протилежні одна одній. Вони доповнюють одна одну.

Переважає більшість наведених чинників є цілком очевидна. Суперечливим чинником є **заробітна плата** (оплата праці працівника) – винагорода за працю залежно від кваліфікації працівника, складності, кількості, якості та умов виконуваної роботи, а також компенсаційні і стимулюючі виплати. Цей чинник можна віднести до обох груп. Ф. Герцберг сам визначив заробітну плату як фактор незадоволеності, правда, чітко пояснити свою позицію не зміг.

Історія бізнесу показує, що зарплата є чинником незадоволеності нарівні з контролем, статусом і безпекою тому, що гроші практично не стимулюють, а лише запобігають дискомфорту. Окрім цього, зарплата зазвичай має короткострокову мотиваційну цінність, тобто її не можна розглядати в ролі довгострокового мотиватора такого ж рівня, як відповідальність, досягнення, просування по службі, творче зростання тощо. ◀

### **5. Кількісні підходи та методи в управлінні**

Кількісні наукові підходи та методи відносяться до теоретичного рівня досліджень. Теоретичний рівень дослідження пов'язаний з проникненням у сутність предметів, явищ і процесів, а також з формулюванням закономірностей і законів. До основних методів, які використовуються на даному рівні є ідеалізація, формалізація, моделювання, проектування, індукція і дедукція, історичний метод, аксіоматичний метод.

Кількісні наукові підходи та методи в управлінні розробляються на основі **кібернетики** (від стар. грец. *κυβερνητική* – мистецтво управління) – “...науки про управління, отримання, передачі та перетворення інформації в кібернетичних системах” [185]. Мається на увазі складні системи, які функціонують завдяки управлінню або керуванню. Появі та розвитку кібернетики завдячується таким видатним вченим, як Н. Вінер, У. Р. Ешбі, С. Бір, В.М. Глушков, Дж. Клір, Р. Калман, Л.В. Канторович, А.І. Берг, Д. Форстер, Мак-Каллок, У. Г. Уолтер та ін.

**Управління** – це складова частина функціонування організаційної системи, що являє собою процес впливу однієї особи на іншу або на групу осіб відповідно до поставлених завдань. Управління визначає, хто має повноваження приймати рішення. У свою чергу, **менеджмент** повинен забезпечувати щоденну реалізацію наукового підходу до управління організацією.

Зазвичай розрізняють такі типи управління:

1. **Стратегічне управління**, яке пов'язане з аналізом теоретичної проблеми, редукування її на ряд задач теорії диференціальних рівнянь, виявлення початкових умов (стосується часу) *задач Коші*, а також граничних умов (стосується простору) *крайових задач* та пошуку оптимальних моделей їх розв'язку.
2. **Цільове управління** – метод управлінської діяльності, оснований на виділенні найважливіших у даний період цілей (завдань), на здійснення яких спрямовуються головні зусилля керуючої організації.

3. *Ситуаційне управління* – прийняття управлінських рішень при виникненні проблем щодо економічної ситуації, що складається в процесі господарювання (прийняття стратегічних рішень в міру виявлення потенційних проблем).

Кількісні наукові підходи та методи в управлінні розробляться також на основі системного підходу. Появі та розвитку системних уявлень в науці завдячується таким видатним вченим, як О.О. Богданов, Л. Берталанфі, Н. Вінер, У. Р. Ешбі, М. Месарович, І. Блауберг, Е. Юдін, А. Уйомов та ін.

**Системний аналіз.** Як зазначає видатний російський вчений **Микита Миколаєвич Моїсеєв** (1917-2000), системний аналіз – “...своєрідний синтез ідей і принципів теорії дослідження операцій і методів теорії управління з можливостями сучасної обчислювальної техніки” [140, с. 130].



Однією з центральних проблем системного аналізу є проблема прийняття рішень. Як прикладна наукова дисципліна, системний аналіз опирається на досягнення теорії систем (системологію), яка відноситься до методології науки, а також на системний підхід, який являє собою “...деякий загальнометодологічний принцип. Його гносеологічний аспект – це теорія систем. Його рецептурна, апаратна реалізація – це системний аналіз” [140, с. 136].

Нині системний аналіз набув широкого розповсюдження в різноманітних галузях досліджень, в яких здійснюється спроба формалізувати процеси в складних системах рефлексивного і нерефлексивного типів.

---

#### **4.6. Управління в ергатичних та керування в технічних системах**

---

Управління в ергатичних системах. Застосування ситуаційного підходу в завданнях управління (керування) складними ергатичними об'єктами. Логіко-трансформаційне правило. Метод ситуаційного керування за допомогою процедури класифікації ситуацій та їх перетворення. Сутність функціонування технічної або ергатичної системи рефлексивного типу. Принцип негативного зворотного зв'язку. Екстремальні моделі та системи керування. Аналіз типів екстремальних САК. Основні принципи ускладненої поведінки САК. Стан сучасної силової електроніки. Основні тенденції розвитку сучасної силової електроніки. Фазі-логіка та модель нейронні мережі. Сучасний автоматизований електропривод (АЕП). Аналіз АЕП на основі фазі-логіки.

---

Як ми раніше зазначали, *ергатичні системи* – це складні ієрархічні системи управління, в яких людина може брати участь на будь-якому рівні. Складність таких систем визначається тим, що вони мають підсистему *управління*, пов'язану безпосередньо з людиною (наприклад, водій трамваю, оператор прокатного стану тощо) та з *керуванням*, з боку підсистеми керування (наприклад, автомат, мікроконтролер, фазі-логіка, інтелектуальна система тощо). Зазначимо, що алгоритми керування можуть бути детерміновані (“жорсткі”), стохастичні (імовірнісні) та нечіткі (“м'які”).

Як показують дослідження Д.О. Поспелова [167], ситуаційний підхід раціонально застосовувати для вирішення проблем управління (керування) *нетрадиційними об'єктами*, які мають такі властивості: унікальність, відсутність формалізованої мети існування, динамічність поведінки, відсутність оптимальності,

неповнота опису, наявність свободи волі. Маються на увазі складні ергатичні системи, які еволюціонують у часі, змінюють свою структуру та функції в залежності від цілеспрямованої поведінки людей, які включені в ланки управління. З цією метою Д.О. Поспелов вводить такі поняття:

- 1) **поточна ситуація** (*current situation*,  $Q_j, j = \overline{1, m}$ ) про об'єкт управління – сукупність всіх відомостей про структуру об'єкта та його функціонування в даний момент часу.
- 2) **повна ситуація** (*full situation*,  $S_i, i = \overline{1, n}$ ) – це сукупність, яка складається з поточної ситуації, знань про стан системи управління (керування) в даний момент часу і знань про технології управління.

Нехай в розпорядженні системи управління (керування) є  $n$  різних способів впливу на об'єкт управління, які є за суттю однокрокові рішення  $U_k, k = \overline{1, r}$ . Елементарний акт управління (керування) можна подати так:

$$S_i : Q_j \xrightarrow{U_k} Q_1 \quad (4.20)$$

Ми отримали **логіко-трансформаційне правило** (ЛТП), або **кореляційне правило**: якщо на об'єкті управління (керування) склалася ситуація  $Q_j$  та стан системи управління (керування) і технологічної схеми управління (керування), яке визначається  $S_i$ , допускає використання впливу  $U_k$ , то він застосовується, і поточна ситуація  $Q_j$  перетворюється в нову ситуацію  $Q_1$ .

Далі Д.О. Поспелов вводить **процедуру класифікації**, у відповідності з якою кожен повну ситуацію розчленовують на  $n$  класів, кожному з яких приписується одне з можливих діянь на об'єкт управління чи керування (рис. 4.11)

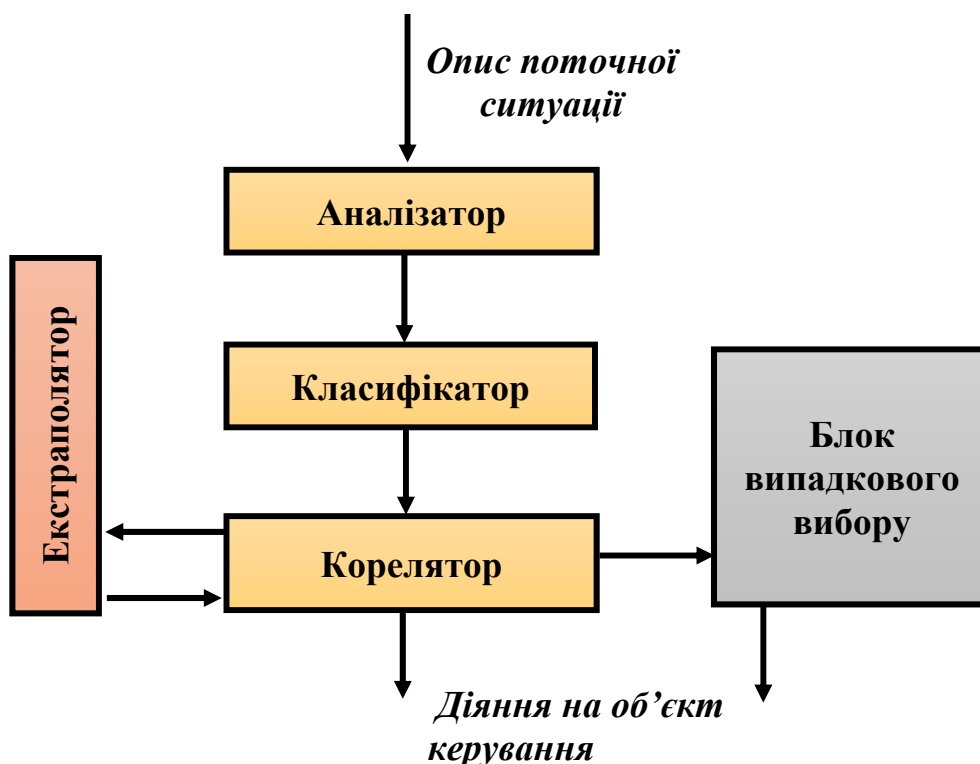


Рис. 4.11. Метод ситуаційного керування за допомогою процедури класифікації ситуацій та їх перетворення

П→ Опишемо метод ситуаційного керування (для автоматичних систем) і ситуаційного управління (для автоматизованих систем).

На вхід *аналізатора* подається опис поточної ситуації  $Q_j, j = \overline{1, m}$ . Аналізатор оцінює повідомлення і визначає, чи потребує втручання системи керування в процес, що протікає в об'єкті керування. Якщо поточна ситуація не вимагає такого втручання, то аналізатор не передає її на подальшу обробку. У супротивному випадку опис поточної ситуації надходить у *класифікатор*, який відносить поточну ситуацію до одного або декількох класів, яким відповідають однокрокові рішення. Ця інформація передається в *корелятор*, в якому зберігаються всі ЛТП.

Корелятор визначає те ЛТП, яке повинно бути використане. Якщо таке правило єдине, то воно видається для виконання. Якщо ж таких правил декілька, то вибір кращого з них виробляється після обробки попередніх рішень в *екстраполяторі*, після чого корелятор видає рішення про діяння на об'єкт керування (в екстраполяторі на основі знань про функціонування об'єкта керування попередньо оцінюються результати застосування вибраної дії та порівнюються отримані прогнози для всіх можливих для даної повної ситуації дій).

Якщо ж корелятор або класифікатор не можуть прийняти рішення за описом поточної ситуації, що надійшов, то спрацьовує *блок випадкового вибору*. Цей блок вибирає одне із діянь (впливів), які здійснюють не надто великий вплив на об'єкт, або ж система відмовляється від будь-якого впливу на об'єкт. Це говорить про те, що система керування не має необхідної інформацією про свою поведінку в даній ситуації.

Відзначимо особливості описаного методу ситуаційного керування :

1. Метод вимагає значних попередніх затрат на створення бази відомостей про об'єкт керування, його функціонування та способи керування ним.
2. Рівень опису повинен бути не надто детальним і не надто грубим, щоб уникнути шумових ефектів та недостатності інформації про об'єкт керування.
3. Мова опису ситуацій повинна відображати не тільки кількісні факти і відношення, а й якісні знання про об'єкт керування, які не можуть бути формалізовані в звичайному математичному сенсі.
4. Класифікація ситуацій, об'єднання їх в класи відбувається на суб'єктивній основі за допомогою експертів. Система підсумовує знання окремих експертів (сучасні системи намагаються інтегрувати) і стає носієм колективного досвіду професіоналів.

У випадках, коли число повних ситуацій  $S_i, i = \overline{1, n}$  значно більше числа однокрокових рішень  $U_k, k = \overline{1, r}$ , тобто ( $|\{S_i\}| \gg |\{U_k\}|$ ), то метод ситуаційного керування (управління) найбільш ефективний. Для випадку  $|\{S_i\}| \approx |\{U_k\}|$  маємо незначну ефективність схеми ситуаційного керування (управління). ◀

Розглянемо просту технічну систему керування (регулювання), а також ергатичну систему рефлексивного типу (рис. 4.12).

Пристрій керування (ПрК), або регулятор вибирає керування  $u$ , яке є функцією часу [ $u = u(t)$ ], а також виконує роль фазового вектора [ $u = u(x)$ ], враховуючи параметри та стани об'єкта керування, які задані вектором  $X$  [значення керованої величини задаються функцією  $x(t)$ ].

На об'єкт керування окрім керуючих діянь з боку ПрК діє збурення зовнішнього середовища [ $\lambda = \lambda(t)$ ]. Таким чином, окрім прямого зв'язку  $u = u(x, t)$  повинен існувати ще негативний зворотний зв'язок  $\xi = \xi(x, t)$ .

Коригування керуючих впливів  $u = u(x, t)$  здійснюється їх порівнянням з реальним поточним станом параметрів об'єкта керування  $\xi = \xi(x, t)$  в суматорі ( $\otimes$ ). Тоді на виході суматора виробляється сигнал  $\Delta f = |u(x, t) - \xi(x, t)|$ . Якщо сигнал  $\xi(x, t)$  зменшується, то  $\Delta f$  збільшується, і, навпаки, якщо  $\xi(x, t)$  збільшується, то  $\Delta f$  зменшується. Як наслідок, досягають *інваріантності* (незалежності) регульованої

величини відносно збурюючих дій зовнішнього середовища  $\lambda(t)$ ). Це і є **принцип негативного зворотного зв'язку**, або принцип керування за відхиленням (принцип Ползунова-Уатта).

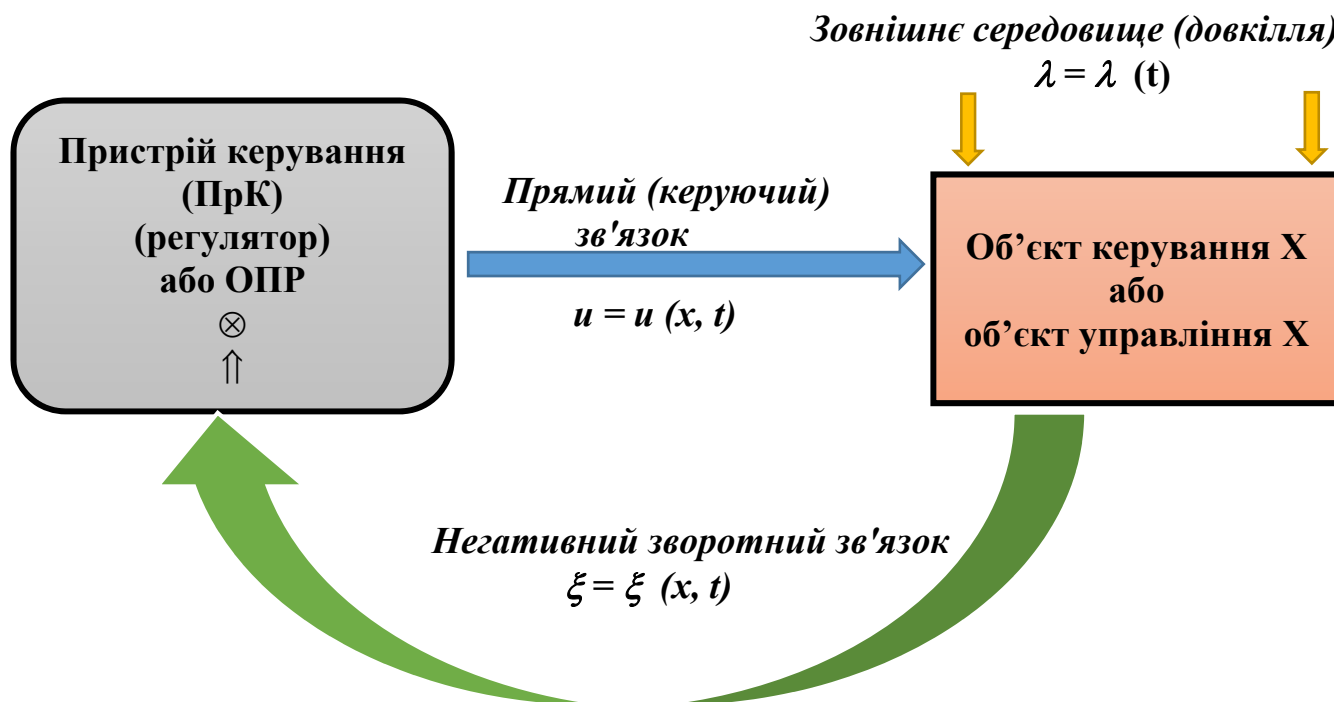


Рис. 4. 12. *Схема функціонування технічної або ергатичної системи рефлексивного типу*

Аналогічна схема буде для простої ергатичної системи, в якій функції регулятора виконує особа, що приймає рішення (ОПР). У цьому випадку маємо найпростішу одноцільову ергатичну систему управління (ергамат), в якій моніторинг зворотного зв'язку здійснюється ОПР.

Реально схеми автоматичного керування та автоматизованого управління значно складніші так, як мають у своєму складі датчики, підсилювачі, перетворювачі сигналів, є неперервні та дискретні, лінійні та нелінійні тощо. Рекомендуємо читачам джерела [25; 185; 202; 218].

Таким чином, керуючий вектор має враховувати збурення зовнішнього середовища  $\lambda(t)$  та має такий загальний вигляд:  $\mathbf{u} = \mathbf{u}(x, \lambda, t)$ . Остання рівність означає, що програма комп'ютера активує алгоритм керування при відомих параметрах об'єкта керування та зовнішнього середовища. Очевидно, на величини  $x$ ,  $u(t)$ ,  $\lambda(t)$  накладені обмеження:

$$x \in G_x, \forall t; u(t) \in G_u, \forall t, x, \lambda; \lambda(t) \in G_\lambda, \forall t. \quad (4.21)$$

Факт доцільної поведінки технічних систем II-го класу описав Ст. Бір: "Оскільки машина є доцільною системою, то її опис визначається картиною послідовності її



станів в процесі руху до поставленої перед нею мети. Ця послідовність станів задається множиною *переходів* одних елементів (операндів) в інші (образи). Ця множина отримала назву *перетворення*. Якщо образи, отримані в результаті перетворення, не містять елементів, відмінних від операндів, а являють собою лише нову композицію одних і тих же елементів, то ми маємо *замкнуту систему* (тобто множину операндів, замкнуту щодо даного перетворення)” [21, с. 63] (курсив мій. – МК).

Розглянемо підхід до побудови *екстремальної моделі керування*, коли вибір відбувається в умовах визначеності.

Нехай  $x$  –  $n$ -мірний фазовий вектор деяких характеристик системи (об’єкта керування), значення яких моделюються;  $f$  – деяка функція;  $t$  – час;  $\lambda$  –  $k$ -мірний ( $k \leq n$ ) *вектор збурень* (зовнішніх впливів), який може бути *стохастичним* (випадковим, імовірнісним), *нечітким* (англ. *fuzzy*) або *нестохастично невизначеним* в сенсі неповноти наших знань про досліджуване явище.

Далі вводиться *простір стратегій*, який зазвичай задається кінцевою множиною  $X$  *альтернатив*  $x_i, i = \overline{1, N}$ , тобто способів, варіантів або / і засобів досягнення мети.

Мірою оцінювання альтернатив є *критерій* (від лат. *critērium*) або *цільова функція*  $q(x)$  – *це мірило, ознака, вимога, правило чи процедура, які необхідні та достатні для того, щоб на їх основі здійснювати оцінювання, визначення або класифікацію будь-чого* (можливі випадки застосування декількох критеріїв).

Нехай  $x$  – деяка альтернатива з множини  $X$ . Вважаємо, що для всіх  $x \in X$  можна задати цільову функцію  $q(x)$ , яка має таку властивість: якщо альтернатива  $x_2$  переважає альтернативу  $x_1$ , тобто  $x_2 > x_1$ , то  $q(x_2) > q(x_1)$ , і навпаки. Якщо вибір будь-якої альтернативи зумовлює однозначно відомі наслідки і заданий критерій  $q(x)$  чисельно виражає оцінку цих наслідків, то *найкраща альтернатива*  $x^*$  – така, за якої критерій  $q(x)$  набуває свого найбільшого значення:

$$x^* = \arg \max q(x), \quad x \in X. \quad (4.22)$$

Очевидно, що задача відшукування  $x^*$  проста за постановкою, проте складна для розв’язання, оскільки можливість і метод її розв’язання залежать від характеру множини  $X$  (скінченна, зліченна чи континуальна), характеру критерію  $q(x)$  [залежність  $q(x)$  – функція або функціонал, і яка це функція або який саме це функціонал].

Оцінювання за одним критерієм може дати далеко не достовірні результати (наприклад, оцінювання особистих знань студента з певної теми навчальної дисципліни без оцінювання вмінь і навичок). Це означає, що в екстремальній моделі керування для оцінювання альтернатив (навіть в умовах визначеності) необхідно використовувати декілька критеріїв  $q_j, j = \overline{1, m}$ .

Таким чином, у загальному випадку задача керування є багатокритеріальною і містить у собі різноманітні невизначеності: невизначеність цілей, *невизначеність стратегій* (способів досягнення вказаних цілей), невизначеності навколишнього середовища і невизначеності, пов’язані з наслідками збурюючих впливів  $\lambda(t)$  на динамічну систему (об’єкт керування).

Вказане вище відноситься до замкнутих детермінованих систем керування, в яких реалізується принцип керування за відхиленням. У вказаній системі керування здійснюється перебудова параметрів алгоритму керування без перебудови структури самого алгоритму (*самонастроювальні системи*) або здійснюється пошук екстремального значення показника якості та підтримка процесів поблизу цього екстремального рівня в умовах дії перешкод (*екстремальні системи*) [112]. Тому спосіб досягнення мети керування формалізується функцією, яка власне і є законом керування:

$$u = u(x, \lambda, t) \quad (4.23)$$

Отже, *мета керування* динамічною екстремальною технічною системою формується в термінах максимізації деякого функціоналу  $J(u)$ , а саме:

$$J(u) = \int_0^T F(x, u, t) dt \rightarrow \max, \quad (4.24)$$

де  $T$  – часова тривалість керуючих дій.

У найпростіших *системах автоматичного керування* (САК) значення вихідної регульованої (керованої) величини  $x(t)$  задаються зовні.

У більш складніших системах автоматично відшуковується і підтримується режим роботи. Зокрема, в *системах екстремального керування* (автоматичної оптимізації) автоматично відшуковується і підтримується режим роботи, який характеризується максимально (мінімально) можливим значенням показника (критерія) якості. Цей показник називається також *показником екстремуму, цільовою функцією або функціоналом*. Як цільова функція застосовується коефіцієнт корисної дії, продуктивність, енергозатрати тощо, які одночасно являються *критеріями ефективності*. У таких системах необхідне значення керованої величини визначається або розробником, або всередині самої САК таким чином, щоб забезпечити екстремальне значення певних параметрів системи.

*Екстремальний регулятор* автоматично відшуковує і підтримує такі значення керувальної дії  $u = u(t, x, \lambda)$ , при яких значення регульованої (керованої) величини  $x(t)$  досягає екстремального значення.

В основі алгоритму пошуку екстремуму лежить *метод градієнта цільової функції*, який визначає напрям і швидкість руху до екстремуму в просторі регульованих координат в процесі функціонування об'єкта керування при наявності завад, збурень й інерційності самого об'єкта керування.

Екстремальні САК поділяються на такі типи:

- 1) безпошукові системи, які використовують підстроювальні математичні моделі об'єкта керування;
- 2) дуальні системи, які дозволяють вивчати параметри об'єкта керування й одночасно приводити його в потрібний стан;
- 3) пошукові системи, в яких для оцінювання градієнта цільової функції на основний рух керуючих координат накладаються додаткові рухи.

**П** → Розрізняють три *основні принципи ускладненої поведінки* [112].

**1. Адаптивно-параметричне самокерування** для САК з ідентифікаційним алгоритмом адаптивного керування. Якість цього САК пов'язана з доцільною зміною параметрів системи – як реакція на параметричне збурення (самоналаштування параметрів). На цьому принципі ґрунтується робота *параметричних адаптивних САК* зі стабілізацією якості керування. Ці системи використовують алгоритм керування з фіксованою (з точністю до параметрів) структурою і далі на основі отриманих в ході ідентифікації параметрів об'єкта керування організовується процес самонастроювання цих параметрів з метою наближення їх до оптимального значення.

**2. Адаптивно-непараметричне самокерування** для САК з одночасною ідентифікацією та зміною алгоритму функціонування. У цих системах алгоритм керування заздалегідь не фіксується, а процес ідентифікації та зміни алгоритму роботи пристрою керування не розділяється і здійснюється одночасно. Іншими словами, при зміні параметрів об'єкта керування повинні автоматично й одночасно розв'язуватися два завдання: а) завдання ідентифікації (визначення параметрів об'єкта керування) і б) синтез алгоритму роботи регулятора на основі відомих параметрів об'єкта керування.

Якість цих САК пов'язана з наявністю інформаційних функцій та сенсорної системи. Реалізується розпізнавання образів й адаптація в обстановці, що не точно визначена заздалегідь. На цьому принципі ґрунтується робота *непараметричних адаптивних САК* з оптимізацією якості керування. Наприклад, адаптивні роботи, автопілот літака.

Адаптивні САК мають *адаптивні регулятори*, які складаються з основного контуру регулювання та контуру адаптації (самонастроювання). Основним компонентом контуру адаптації є адаптер-пристрій, що реалізує алгоритм адаптації. Наявність цього пристрою дозволяє (в першому наближенні) вирішити *головну проблему автоматичного керування – побудова керування при невизначених параметрах об'єкта керування*.

**3. Функціональний гомеостаз** для САК, в яких закони зміни параметрів регулятора виходять прямо з цілей керування. Якість цього САК пов'язана з тим, що параметри регулятора змінюються в залежності від значень критерію якості функціонування системи. На цьому принципі ґрунтується робота *функціонально-адаптивних САК*, які реалізують прямий підхід до адаптації. ◀

Коротко розглянемо стан та тенденції розвитку сучасної силової електроніки та електротехніки, результат дослідження яких викладений автором в посібнику [118].

Спочатку розглянемо *силові напівпровідникові прилади* (СНП), низьковольтні апарати й *автоматизований електропривод* (АЕП) постійного і змінного струмів.

Створенню оригінальних і перспективних електротехнічних виробів, яким притаманні висока продуктивність, надійність, екологічна чистота, сприяло широке застосування систем автоматизованого й автоматичного проектування, а саме потужних систем автоматизованого й автоматичного моделювання / проектування (САМ / САД). Подробиці читач зможе знайти в праці автора [118].

Друга половина ХХ ст. характеризувалася революційними змінами у створенні й освоєнні нових матеріалів, принципово нових технологій, зокрема інформаційної й електронної. Початок ХХІ ст. базується на *двох ключових технологіях: комп'ютери* (“розум”) і *силова електроніка* (“м'язи”). Розвиток інтегральних мікросхем відбувається у напрямі істотного збільшення ступеня інтеграції елементів у кристали (чіпі) та побудові на їх основі швидкодіючих пристроїв програмної обробки інформації (*мікропроцесорів*), а також пристроїв формування алгоритмів керування (*мікроконтролерів*).

*Силову електроніку* вважають ключовою технологією ХХІ століття тому, що вона об'єднала досягнення мікроелектроніки, техніки комутації електричних кіл і

передову технологію керування. За рахунок цього досягається як економічна ефективність перетворення параметрів електроенергії, так і оптимізація керування технологічними процесами. Діапазон потужностей перетворювального обладнання від одиниць Вт до десятків МВт. Основою силової електроніки є СНП. Створення повністю керованих СНП і модулів на їх основі дозволили отримати швидкодіючі, багатофункціональні перетворювачі електроенергії з ефективним керуванням основних параметрів у широкому діапазоні з обмеженням вищих гармонік на виході.

Зв'язувальною ланкою між мікроелектронними компонентами системи керування і навантаженням будь-якого силового перетворювача є **силовий ключ**.

Історично перші пристрої, які використовувалися як силові ключі – це механічні ключі, перемикачі напряду струму, ртутні та германієві (селенові) діоди, електронні лампи і магнітні підсилювачі (1900-1960рр.). На зміну випрямлячів, ведених електромережою, прийшли керовані напівпровідникові ключі: кремнієві випрямні діоди (зокрема, діоди, які використовують ефект Шоттки з параметрами 5кВ / 200А), тиристри, біполярні транзистори (1960-1980рр.). У період 1980-1990рр. були створені перетворювачі з широко-імпульсною модуляцією і резонансні перетворювачі з високою частотою комутації: модулі біполярних транзисторів, польові транзистори (MOSFET), запірні тиристри (GTO), біполярні транзистори з ізольованим затвором (IGBT), інтелектуальні силові модулі. Біполярні Дарлінгтон-транзистори, які досягнули граничних параметрів 1400В / 200А (на чіп) у кінці ХХ ст. поступово витіснилися та замінилися на польові транзистори.

На основі **польового транзистору** типу метал-оксид-напівпровідник (**MOSFET, Metal-oxide-semiconductor FET**) у 1985 р. створені силові інтелектуальні ключі **MOSFET і СНП** на їх основі – **SMART модулі**, які мають високий ККД. Силовий MOSFET – це силовий напівпровідниковий ключ, здатний комутувати струми від 0,1 до 100 А при робочих напругах від 20 до 1000 В.

**Запірні тиристри (GTO)** мегаватного діапазону потужностей мають високі частоти перемикачання, забезпечують високоточне регулювання значень струмів і частоти напруги живлення тягових електродвигунів. Для серійно вироблених GTO максимальні значення напруги 8кВ, а струму 3кА.

**Біполярний транзистор з ізольованим затвором (IGBT, Insulated Gate Bipolar Transistor)** об'єднав у собі достоїнства польових транзисторів (мала потужність керування, оптимальний діапазон потужностей для надійної роботи, стійкість до струмів короткого замикання (КЗ), малий інтервал часу переключення при відсутності часу накопичення заряду) і біполярних транзисторів (мале падіння напруги у прямому стані). Цей транзистор з польовим керуванням дозволяє створити джерела живлення з чудовими характеристиками: висока робоча частота; покращені масо-габаритні показники (створюються в модульному багато-кристальному виконанні при максимальних розмірах чіпа 16 × 16 мм<sup>2</sup>) та низький рівень шуму; здатність без пошкоджень витримувати режими КЗ; високий ККД при наднадійній роботі.

У теперішній час спостерігається діапазон сили струмів комутації від 10 до 2400А, а напруги – від 600В до 8кВ. Стандартні IGBT – модулі паяної або притискної конструкції використовуються в регульованому технологічному і

тяговому автоматизованому електроприводі (АЕП), вторинних джерелах живлення, в зварювальних перетворювачах тощо.

Якісний стрибок здійснився в 1988р., коли на ринку з'явилися *ІРМ (Intelligent Power Modules)* – *інтелектуальні силові модулі*, які являють собою інтегральну схему *силового гібридного інтелектуального модуля* (СГІМ), що виготовляється методами плівкової технології метал-окисник-напівпровідник. У результаті в одному корпусі містяться: схеми перетворювачів змінного струму (мостові випрямляч та інвертор); датчики; силові ключові елементи і схеми їх запуску й захисту; схеми драйверів; джерела живлення; пристрої регулювання, керування та діагностики тощо.

Порівняно з традиційними АЕП на базі IGBT – модулями, АЕП на основі СГІМ має високу надійність і у декілька разів меншу масу, габарити і собівартість.

Системотехнічною основою СГІМ є *мікропроцесор* (МП), оперативний запам'ятовуючий пристрій (ОЗП) і база даних (БД). Вони забезпечують функціональну (програмну) гнучкість модуля. При цьому, неабияку роль відіграє універсальність МП, яка полягає у тому, що замість проектування і виготовлення необхідної схеми, достатньо її функції запрограмувати й увести в постійний запам'ятовуючий пристрій.

Розроблені та впроваджені на практиці *об'єктно-орієнтовані АЕП* на основі *сигнальних мікроконтролерів (СМ)*, які в свою чергу базуються на *сигнальних МП* – самоналагоджуваних систем з ідентифікацією параметрів виконавчого електродвигуна і навантаження.

АЕП на основі СМ незамінні для автоматичного керування електрообладнанням, тому що їх сигнальні МП мають не фон Неймановську, а Гарвардську архітектуру (багатоштинну структуру), що дозволяє досягти продуктивності не менше 20 млн. операцій в секунду, тобто обробку інформації від датчиків у реальному масштабі часу.

АЕП на основі СМ має широкі функціональні можливості тому, що базується на *лінійних алгоритмах керування*, як за допомогою датчиків, так і без них. Принцип керування за відхиленням реалізується в таких способах, як ковзне, підпорядковане, векторне, модальне й адаптивне.

Більш адекватні реальним виробничим ситуаціям *нелінійні алгоритми керування* в АЕП, які реалізуються за допомогою моделі нейронної мережі та фазі-логіки.

Продуктом розвитку штучного інтелекту було створення *штучних нейронних мереж* (ШНМ) – предмет дослідження *нейроінформатики* та одна з гілок вивчення та моделювання штучного інтелекту (*нейрони* – нервові клітини, з яких складається нервова система людини, а також їх штучні та формалізовані моделі).

*Штучна нейронна мережа* (ШНМ) – це математична модель, а також її програмне або апаратне втілення, що побудована за принципом організації та функціонування біологічних нейронних мереж (мереж нервових клітин живого організму).

Вказане поняття з'явилося при вивченні процесів, що протікають у мозку, і при спробі змоделювати ці процеси (мозок містить близько  $10^{11}$  нейронів різних типів). Першою такою спробою були нейронні мережі У. Мак-Каллока і В. Піттса.

Відомо, що ШНМ являють собою багатоканальні моделі нервово-мозкової системи людини, які в деякому ступені відтворюють деякі функції людського мозку. До основних властивостей ШНМ відносяться: паралельна обробка інформації, здатність до навчання, самонавчання, адаптації, узагальненню, абстрагуванню та асоціаціям.

Нейронні мережі не програмуються в звичному сенсі цього слова, вони *навчаються*. Можливість навчання – одна з головних переваг нейронних мереж перед традиційними алгоритмами. Результатом процесу навчання є знаходження коефіцієнтів зв'язків між нейронами, виявлення складних залежностей між вхідними даними і вихідними, а також отримання узагальнень.

Після розробки алгоритмів навчання, ШНМ стали використовувати в практичних цілях: в задачах прогнозування, для розпізнавання образів, в задачах адаптивного управління та як алгоритми для робототехніки. Зокрема, при адаптивному керуванні як вхідні сигнали використовуються різні критерії опису стану керованої системи [подробіці є в джерелі: Матвеев М.Г. Модели и методы искусственного интеллекта. Применение в экономике: учеб. пособие / М.Г. Матвеев, А.С. Свиридов, Н.А. Алейникова. – М.: Финансы и статистика; ИНФРА-М, 2008. – 448 с.].

**Фазі-логіка** (fuzzy logic) в перекладі з англійської мови означає “нежорстка”, нечітка, наближена логіка. У математичному сенсі фазі-логіка являє собою нову гілку теорії множин.

Як відомо читачам, класичне поняття множини – це сукупність об'єктів, кожен з яких повинен мати або не мати певну властивість. Така множина характеризується тільки одним показником для всіх об'єктів і певною межею. Наприклад, маємо два стани води за нормальних умов, які характеризуються температурами  $65^{\circ}\text{C}$  і  $99^{\circ}\text{C}$  (гранична межа є  $100^{\circ}\text{C}$ , при якій агрегатний стан води змінюється – перетворення в пар). За класичними уявленнями, вказані значення температури з точки зору порядкової шкали є “низька” і відносно “висока”, а діапазон  $99^{\circ}\text{C}$  і  $105^{\circ}\text{C}$  – висока температура при різних якісних агрегатних станах води.

Наведена вище суперечність усувається відносно новим поняттям – “**фазі-множина**”, яка є фундаментальним поняттям фазі-логіки.

**Фазі-логіка** імітує спосіб мислення людини в лінгвістичних термінах, тому для фазі-управління не потрібно строгий математичний опис об'єкта.

На відміну від систем управління, які базовані на двійковій алгебрі висловлювань, що репрезентуються множиною  $A$  з двома елементами  $A = \{\text{Істина}, \text{Брехня}\} \equiv \{1, 0\}$ , нечітка логіка включає в управління значення (точки) всього континууму  $[0, 1]$ , що надає ефективні засоби відображення невизначеностей і неточностей реального світу. Це означає, що математичний інструментарій, на якому базоване нечітке керування, ближче до людського мислення і природним мовам, ніж традиційні логічні системи Аристотеля.

Вказане, в тій же мірі, відноситься і до технічних систем керування. Нечітке керування (Fuzzy Control) нині є однією з найперспективніших інтелектуальних технологій.

**Фазі-логіка** проектується на основі теорії нечіткого керування і дозволяє досягти *м'якої адаптації* до змін умов процесу керування при неточних і неповних вихідних даних про об'єкт керування.

Сьогодні елементи нечіткої логіки можна знайти в десятках промислових виробів – від систем керування електропоїздами і бойовими вертольотами до пилососів і пральних машин. Новий математичний апарат, на основі нечіткої логіки, переводить невиразні і неоднозначні життєві, виробничі та управлінські твердження в мову чітких і формальних математичних формул. Рекламні кампанії багатьох фірм (переважно японських і американських) мають значні успіхи у використанні нечіткої логіки як особливу конкурентну перевагу. Без застосування нечіткої логіки немислимі сучасні ситуаційні центри керівників західних країн, у яких приймаються ключові політичні рішення і моделюються всілякі кризові ситуації.

П→ Зсув центра досліджень нечітких систем вбік практичних застосувань спричинило до постановки цілого ряду проблем, зокрема:

- інженерні методи розрахунку та розробки нечітких систем керування;
- елементна база нечітких комп'ютерів і контролерів;
- нові архітектури комп'ютерів для нечітких обчислень;
- інструментальні засоби розробки будь-яких систем і процесів ;
- фазі-логіка тощо.

Серед основних причин широкого поширення fuzzy-керування в САК належить виділити такі:

- ❖ САК з нечіткою логікою мають особливі якості, зокрема малу чутливість до зміни параметрів об'єкта керування.
- ❖ Синтез САК з нечіткою логікою при застосуванні сучасних засобів апаратної та програмної підтримки найчастіше простіше, ніж традиційних САК.
- ❖ Застосування САК з нечіткою логікою дозволяє досягти *м'якої адаптації* до змін умов процесу керування при неточних і неповних вихідних даних про об'єкт керування.
- ❖ Керування основі фазі-логіки моделює процес мислення людини та може замінювати його в управлінні рухом самохідних транспортних засобів.
- ❖ За допомогою фазі-логіки реалізуються *нелінійні алгоритми нечіткого керування*, які здійснюються за допомогою електронних *фазі-контролерів* (від англ. *controller* – регулятор, керуючий пристрій), які мають у своєму складі аналогові паралельні обчислювачі, а також інші мікросхеми – *фазі-чіпи* (fuzzy-chips) – відлиті в кристалі елементи фазі-логіки, які забезпечують високу швидкодію. На фазі-чіпах здійснюються операції фазифікації і дефазифікації, а на основі мікропроцесора обробляються правила, що зберігаються в пам'яті контролера.
- ❖ Нелінійні алгоритми нечіткого керування адекватні реальним виробничим ситуаціям (процесам) та реалізуються за допомогою фазі-логіки і моделі нейронні мережі. Нині вказані алгоритми та відповідні комп'ютерні програми стали широко застосовуватися в системах керування, зокрема в системах інтелектуального електроприводу. ◀

**Сучасний електропривод** – це сукупність електромашин, апаратів і систем керування ними. Він є основним споживачем електричної енергії (до 60 %) і головним джерелом механічної енергії в промисловості. Перспективним різновидом електроприводу є автоматизований електропривод.

**Автоматизований електропривод** (АЕП) – це електромеханічний пристрій, призначений для приведення в рух робочих органів машин і управління їх технологічними процесами. АЕП складається з передавального пристрою, електродвигуна, перетворювального і керуючого пристроїв.

Особливість АЕП полягає в тому, що переробка інформації, необхідна для управління потоками енергії, здійснюється автоматично. Завдяки застосуванню АЕП людина звільняється не тільки від важкої фізичної праці, але з нього знімаються також функції відповідної переробки інформації.

П→ Можна виділити такі *тенденції розвитку автоматизованих електроприводів (АЕП)*:

- заміна нерегульованих АЕП регульованими в енергоємному обладнанні з метою енергозбереження;
- вдосконалення тиристорних АЕП постійного струму;
- заміна аналогових блоків керування комплектних АЕП постійного струму на цифрові з використанням контролерів приводу;
- заміна АЕП постійного струму на АЕП змінного струму з синхронними, асинхронними й індукторними двигунами;
- реалізація ідеології блочно-модульного виконання комплектних АЕП – широке варіювання силових модулів і модулів керування, які входять у склад силових блоків і блоків керування комплектного АЕП, з метою їх адаптації до режимів і умов роботи механізмів;
- розроблення нових серій *безконтактних пускачів з мікропроцесорним керуванням* (ПБМ), які забезпечують комутацію струмів (від 0,5 до 630 А), прямий пуск, керований пуск (плавне зростання напруги), керовану зупинку асинхронного двигуна (АД), захист від перегріву АД і пускача, від струмів КЗ, обриву фази, перекоосу напруги в фазах;
- перехід від жорстко програмованих пристроїв керування роботою АД до гнучко програмуємих структур на базі високо-інтегрованих *мікропроцесорних модулів* з метою чіткого оптимального керування, корекції та контролю стану функціонування АД;
- орієнтація на регульований АЕП змінного струму, який базується на об'єктно-орієнтованому підході з використанням принципів частотного й адаптивно-векторного керування (діапазон потужностей АЕП від часток кіловата до 100 МВт);
- широке використання в частотно-регульованому АЕП біполярних транзисторів з ізольованим затвором (IGBT) і мікроконтролерів для керування силовим обладнанням в реальному масштабі часу;
- використання в АЕП транзисторів IGBT разом зі швидкодіючим діодом з керованим емітером (EMCON) в одному модулі спричиняє антижорстку ("м'яку") комутацію, підвищує надійність та розширює діапазон регулювання швидкості;
- еволюція частотно-регульованого асинхронного АЕП пов'язана з вдосконаленням перетворювачів частоти з *адаптивно-векторним керуванням*, що спричиняє до адекватної автоматичної настройки АЕП на задані динамічні характеристики (перетворювач частоти, зокрема, складається із трифазного некерованого випрямляча, трифазного місткового IGBT-інвертора з модулем гальмування, мікропроцесорної системи керування);
- поступовий перехід від АЕП на базі IGBT-модулів до АЕП на основі СГІМ, що дозволяє покращити масо-габаритні параметри, ефективність і надійність;
- розробка об'єктно-орієнтованого АЕП високої продуктивності на основі сигнального мікроконтролера (СМ);
- витіснення або спрощення механічних передавальних вузлів АЕП і заміна їх на електричні з використанням електронних систем керування;
- використання в системах інтелектуального АЕП *нелінійних алгоритмів нечіткого керування*, адекватних реальним виробничим ситуаціям, які реалізуються за допомогою фазі-логіки і моделі нейронної мережі. ◀



---

## 4.7. Інтелектуальні системи керування організаційно-технічними системами

---

Уявлення про класичну і сучасну теорію автоматичного керування. Методи штучного інтелекту. Досягнення класичної теорії управління організаційними системами (ТУОС). Методологічна основа сучасної ТУОС. Організаційно-технічні процеси (ОТП) та їх властивості. Поєднання системи керування ОТП і ланки з ОПР: сутність, переваги і недоліки. Застосування для оцінки *якості продукції* експертних систем (ЕС), як ланки керування ОТП. Поняття алгоритму й алгоритмізації. Сучасна класифікація алгоритмів та їх властивості. Сутність імовірнісних, евристичних і нечітких алгоритмів. Генетичний алгоритм. Контролери нечіткої логіки. Інтелектуальне управління ОТП: суть, основні принципи, застосування на практиці. Інтелектуалізація. Інтелектуальність. Ступінь інтелектуальності. Інтелектуальні системи керування (ІСК). Основні принципи інтелектуального управління ОТП. Уявлення про нейронні мережі та їх застосування для керування організаційно-технічними системами.

---

Раніше нами розглядалися відносно добре вивчені організаційні та технічні системи.

Проте інтеграція або синтез вказаних систем у цілісні організаційно-технічні (технологічні) або техніко-організаційні системи призводить до ускладнень онтологічного, методологічного та технологічного рівнів.

Створення класичної теорії автоматичного керування в період з 70-х рр. XIX ст. до середини XX ст. дозволило автоматизувати широкий клас об'єктів в промисловості, сільському господарстві, на транспорті і т. д. Отримані САК характеризуються відносною простотою, певною детермінованістю, лінійністю (*“лінеаризованість в малому”*), зосередженістю координат, достатньою вивченістю характеристик, можливістю побудови регулярних математичних моделей, реалізованістю, стаціонарністю.

САК проектувалися за допомогою структурного математичного моделювання і формалізованих методів, розроблених на основі теорій диференціальних рівнянь й оптимального управління, операційного числення, гармонічного аналізу.

Сучасна теорія САК орієнтована на створення автоматичних систем, які мають такі властивості, як нелінійність, розподіленість координат, недетермінованість і нестаціонарність. У цьому зв'язку були створені формалізовані регулярні методи синтезу САК на основі уявлень простору станів, векторно-матричного числення, теорії систем і теорії оптимального керування [86].

Проектування складних нелінійних дискретних технічних об'єктів, об'єктів з невизначеностями не уможлиблюється без застосування *методів штучного інтелекту*, що відповідає новітній теорії керування. При цьому використовується апарат нечіткої (fuzzy) логіки, штучних нейронних мереж, еволюційних (генетичних) алгоритмів, експертних систем, систем природного мовного спілкування, розпізнавання образів, систем, базованих на знаннях і т. ін.

При спробі заміни в ланцюзі управління людини-оператора, або особи, яка приймає рішення (ОПР) на *fuzzy-регулятор* (нечіткий регулятор) призвели до ряду проблем, пов'язаних зі зниженням надійності, якості керування в реальному часі, точності при зміні умов та обставин експлуатації. Ці проблеми обумовлені з необхідністю неперервного чи періодичного вилучення знань з ОПР в процесі керування нестаціонарними технічними системами.

При проектуванні нечітких регуляторів спочатку проводиться *фазифікація* для отримання нечітких множин по точковим значенням. Після отримання результату може проводитися *дефазифікація* – отримання точкових значень вихідних змінних.

Теорія управління організаційними системами поки що не може порадувати великими досягненнями, за виключенням [86]:

- створення теорії активних систем (В.Н. Бурков);
- використання теорії ігор в питаннях прийняття рішень і механізмів управління в організаційних системах (Д.А. Новіков);
- розробки теорії з механізмів управління фірмами (А.В. Щепкіна);
- застосування теорії математичного моделювання й оптимального планування (Л. В. Канторович, В.В. Новожилов);
- класифікації організаційних систем на основі системного підходу та принципів побудови, реконструкції та функціонування цих систем.

Проте неформалізованою задачею залишилися такі особливості організаційних систем, як складність, відкритість, активність, самоорганізація, нестаціонарність, нелінійність, багатомірність та ін. Це вимагає використання різних методів подання (зображення, представлення) знань (ПЗ).

**ДВ** → Переважно застосовуються такі *моделі подання знань* :

1. **Продукційні моделі** ПЗ. Ініціацію необхідного правила здійснює блок керування (інтерпретатор, машина логічного виводу тощо). Організація знань з використанням продукційних моделей така: в базі знань (БЗ) містяться правила продукцій, а в базі даних (БД) – інформація, яка відображає поточний стан розв'язуваної задачі. Великі обсяги знань вимагають їх диференціації (розділення) на рівні. Для забезпечення раціоналізації процесів оперування знаннями необхідно мати такий рівень *метазнань*, який реалізується за допомогою продукцій.
2. **Семантичні мережі** дозволяють описувати властивості та відношення об'єктів, подій, понять, ситуацій або дій за допомогою направленої графа. При використанні семантичної мережі знання, які є основою БД є екстенціональні, а знання, які є основою БЗ – інтенціональні. Зазначимо, що *інтенціональні знання* описують абстрактні об'єкти, події, відношення, а *екстенціональні знання* являють собою дані, що характеризують конкретні об'єкти, їх стани, значення параметрів у певні моменти часу [35; 50].
3. **Фрейми**. Термін *фрейм* (від англ. frame – рамка, кістяк, остов) увів кібернетик М. Мінський як загальний підхід до зображення (представлення) знань у базі знань комп'ютера [231]. Фрейм будь-якого виду – це “мінімально необхідна структурована інформація, яка однозначно визначає даний клас об'єктів [135, с. 3]. Фрейм – основна одиниця зображення інформації або цілісна, відкрита структура, яка може за певних умов перетворюватися в мінімальний опис конкретного реального або абстрактного об'єкта (факту, ситуації, події, предмета, явища або процесу, поняття тощо). У загальному випадку фрейм містить у собі як інформаційні, так і процедурні елементи, які забезпечують перетворення інформації всередині фрейму та зв'язок його з іншими фреймами. Важлива особливість фреймів – наявність у їх структурі незаповнених елементів – *слотів* (терміналів, оболонок, дірок, комірок). *Слоти* – це “незаповнені значення деяких атрибутів” [35, с. 24]. Як значення слота може виступати конкретна інформація, яка відноситься до об'єкта, що описується цим фреймом, а також інформація про встановлення відповідності між іншими слотами й іншими фреймами. Внаслідок цього, одні фрейми входять як елементи в інші фрейми, тобто фрейми допускають *рекурсивне вкладення* слотів один в інший. Наявність слотів дозволяє створити опис розглядаємого об'єкта ПЗ з максимально необхідним ступенем деталізації. ◀

Намагання розширити клас об'єктів автоматизації включенням в нього організаційних й організаційно-технічних систем привело до створення нових методів розв'язання задач управління. Це викликається вимогами економічного розвитку сучасного суспільства. Функціонування таких систем вимагає дослідження **організаційно-технічних процесів** (ОТП).

Властивості ОТП досить різноманітні та включають такі характеристики: складність, багатомірність, змінність структури та цілей функціонування та розвитку системи, недетермінованість, активність, симбіоз (гібридний характер) систем управління та керування і т. ін.

Наявність в системі керування ОТП ланки з ОПР має два ефекти:

- а) *позитивний*, пов'язаний з властивостями адаптивності, толерантності до змін структури, властивостей системи, суб'єктивною оптимізацією рішень, які приймаються та іншими чинниками та факторами;
- б) *негативний*, пов'язаний з нездатністю переробки великого обсягу інформації, зниження надійності через стомлюваність, запізнюванні в прийнятті управлінських рішень, можливо в недостатній професійній компетентності і т. д.

Звідси випливає, що проектування нових ОТП вимагає гармонізації в поєднанні формалізованих регулярних методів синтезу керування, які добре себе зарекомендували для технічних систем, і методів управління, характерних для наявності “людського чинника”, а саме інтелектуальних методів, евристик, інтуїції тощо.

Повертаючись до тенденцій розвитку інтелектуальних систем керування, зазначимо, що сучасні методи штучного інтелекту поки що не мають стрункої теорії. Разом з тим, належить відзначити суттєві досягнення в теорії та практиці **експертних систем** (ЕС).

Застосування ЕС, як ланки керування ОТП, зумовлені їх здатністю не тільки формалізувати знання експертів певної ПГ, але й автоматично здобувати знання, їх обробляти та подавати ОПР за допомогою “дружнього” інтерфейсу (подробіці див. у фундаментальному посібнику П. Джексона [52] ).

ЕС почали застосовуватися для оцінки **якості продукції**, де безсильні методи вимірювання. Зокрема це оцінювання якості напоїв, смакових якостей продуктів харчування, якості ліків, текстури та еластичності матеріалів тощо.

І, нарешті, розглянемо питання щодо управління діями виробничим об'єктом в аспекті алгоритмізації.

Попередньо зазначимо, що властивості об'єкта управління можуть бути описані як в математичній формі так і якісно.

Як відомо, **алгоритмізація дій конче необхідна тоді, коли:**

- в ОПР немає часу на міркування, обдумування варіантів і вибору альтернатив;
- необхідно вибрати оптимальний варіант способу досягнення поставленої мети;
- ми хочемо замінити ОПР **інтелектуальною системою** (ІС, англ. *intelligent system*), тобто технічною або програмною системою, що здатна вирішувати

завдання, які традиційно вважаються творчими та належать конкретній ПГ).

**Алгоритм** – набір інструкцій, що описують порядок дій ОПР або ІС для досягнення певного результату. Результатом кодування певного алгоритму є комп'ютерна програма.

Можна виділити **алгоритми обчислювальні**, які по суті перетворюють деякі вихідні дані у вихідні, реалізуючи обчислення деякої функції, а також **алгоритми управління чи керування** (про них в основному йде далі мова).

**ДВ**→ До основних формальних властивостей алгоритму можна віднести:

- ❖ **Масовість**. Алгоритм повинен бути застосовний не тільки до однієї конкретної процедури, а для класу однорідних процедур.
- ❖ **Детермінованість (визначеність)** – у кожен момент часу наступний крок реалізації алгоритму однозначно визначається станом системи. Таким чином, алгоритм видає один і той же результат для одних і тих же вихідних даних.
- ❖ **Результативність** – завершення (за кінцеве число кроків) дії алгоритму певним результатом. ◀

Нині алгоритми розподіляють на два класи:

- 1) **детерміновані** (“жорсткі”);
- 2) **недетерміновані** (ймовірнісні, евристичні та нечіткі).

Класичні алгоритми розглядалися як **детерміновані** (механічні, “жорсткі”) так, як вони задають певні дії, позначаючи їх в єдиній і достовірній послідовності, забезпечуючи тим самим однозначний необхідний або шуканий результат, якщо виконуються ті умови процесу (завдання), для яких розроблений цей алгоритм. Прикладом може бути алгоритм функціонування двигуна внутрішнього згорання, або автомата з упаковки харчових продуктів. Прикладом детермінованого алгоритму управління може бути інструкція з правил охорони праці на конкретному робочому місці.

Разом з тим, у процесі управління чи керування може змінюватися зовнішня обстановка, умови функціонування об'єкта керування, мета управління (керування) і т. ін. У цьому випадку переходять на **“гнучкі” алгоритми**, в яких змінюється набір команд (вказівок), що виконуються послідовно в часі один за одним. Власне, з точки зору класичних уявлень, “гнучкі” алгоритми є процедури, які подібні алгоритмам, проте ними фактично не є. Ці алгоритми Д.О. Поспелов назвав **квазіалгоритмами** (приставка “квазі” означає “як би”), тому що вони не підпадають під класичне означення алгоритму [168].

Гнучкі, або квазіалгоритми умовно поділяються на три типи:

1. **Імовірнісні (стохастичні) алгоритми** – це алгоритми, які дають програму рішення поставленого завдання декількома шляхами або способами, що приводить до ймовірного досягнення результату. У 1956 р. встановили, що за допомогою ймовірнісних алгоритмів можна обчислити в точності ті ж функції, що і за допомогою звичайних, детермінованих алгоритмів.
2. **Евристичні алгоритми** – це алгоритми, які використовують різноманітні раціональні міркування без строгих обґрунтувань. До класу евристичних алгоритмів відносяться генетичні алгоритми.

**2.1. Генетичний алгоритм (genetic algorithm)** – це евристичний алгоритм пошуку, який використовується для вирішення завдань оптимізації та моделювання шляхом випадкового відбору, комбінування

та варіації шуканих параметрів з використанням механізмів, аналогічних природному відбору в природі.

3. **Нечіткі (розмиті) алгоритми або fuzzy-алгоритми** – це алгоритми, які реалізують складні залежності між нечіткими множинами, нечіткими висловлюваннями і між нечіткими числами. Кожний нечіткий алгоритм (*fuzzy algorithm*) – це послідовність нечітких інструкцій.

**ДВ**→ Існує така **класифікація нечітких інструкцій**:

3.1) призначувані інструкції, наприклад, “*x* – складний”, “*y* – простий”;

3.2) нечіткі висловлювання, наприклад, “Якщо *X*, то *Y*, інакше *Z*”;

3.3) безумовно активні, наприклад, “трохи збільшити *x*”, “трохи правіше *y*”.

Тут можуть додаватися і звичайні “чіткі” інструкції.

На основі теорії нечітких множин розроблені методи синтезу нечітких регуляторів (*fuzzy regulators*), які доповнюють традиційні одноконтурні системи регулювання допоміжними контурами для компенсації збурень, зміни структури й адаптації основного контура.

Розроблено спеціальні мікропроцесори, які реалізують нечіткі алгоритми. Керуючі пристрої, засновані на нечіткій логіці називають **контролерами нечіткої логіки**. У них замість точних залежностей використовують формалізовані лінгвістичні змінні (за допомогою знань експертів). Нині розроблені спеціальні пакети програмного забезпечення, що реалізують нечіткі алгоритми, наприклад, *Fuzzy Calc*.

Нині ринок так званих **нечітких контролерів**, які використовуються в системах з елементами штучного інтелекту і, навіть, в пральних машинах LG, оцінюється мільярдами доларів. ◀

**Інтелектуалізацією** (від лат. *intellectus* – розум, розуміння, пізнання) називається процес передачі функцій управління від людини до комп'ютера.

У більш широкому сенсі термін **інтелектуалізація** означає істотне розширення меж і основних процесів людської пам'яті (запам'ятовування, збереження, відновлення), а також активізацію конвергентного і дивергентного мислення з метою точного використання попередньо засвоєних алгоритмів діяльності та розвитку критеріїв креативності (швидкість, гнучкість, оригінальність, точність) для вирішення проблем, завдань і задач.

Згідно з **концепцією “Семи І”**, яка запропонована автором [116], сучасний розвиток науково-технічного прогресу і, зокрема, освіти, характеризується крім інтелектуалізації ще й інформатизацією, інновацією, інтенсифікацією, інтеграцією, індивідуалізацією та індоктринацією.

**Інтелектуальність** – це характеристика керуючих функцій, які виконує комп'ютер по відношенню до управлінських функцій людини в системі управління.

Нині комп'ютери і контролери, побудовані на їх основі виконують управлінські функції відносно краще, а саме швидше, точніше та надійніше, аніж людина, яка приймає управлінські рішення.

Інтелектуальність систем управління / керування оцінюється показником – ступенем інтелектуальності.

**Ступінь інтелектуальності** – це відносна величина частини керуючих функцій, які виконує комп'ютер.

**ДВ**→ Інтелектуальне управління / керування організаційно-технічними процесами відповідає таким основним **принципам** [86; 89; 90]:

1. **Інформаційна універсальність**. Ефективність **інтелектуальних систем керування** (ІСК) визначається ступенем накопичення в БД і в БЗ інформації про цілі системи керування, цільові критерії, про метрики і методи прийняття рішень, про стан системи керування і

результати ступеня досягнення мети. Поповнення інформації здійснюється на основі поточного функціонування системи управління / керування.

2. **Розширення.** Відкритість організаційно-технічних систем дозволяє їм розширюватися до певної оптимальної межі, якій відповідає певний набір і розподіл управляючих і керуючих функцій, а також необхідний ступінь інтелектуалізації, що відображає рівень автоматизації розумної поведінки (штучного інтелекту).
3. **Швидкодія.** Система управління / керування повинна мати таку швидкість переробки інформації, яка забезпечує функціонування організаційно-технічних систем в реальному масштабі часу. Тому для них актуально отримання й аналіз поточної інформації для вироблення відповідних керуючих діянь.
4. **Універсальність прийняття управлінських рішень в інтелектуальних автоматизованих системах управління (ІАСУ) і в ІСК.** Очевидно, що ІСК відносяться до класу автоматичних систем.

Розв'язання завдань інтелектуального управління / керування обумовлює необхідність комбінованого підходу, який має декілька аспектів:

- для визначення управління (керування) *и* використовується інформація не тільки про вихід *у* керованого об'єкта  $X$ , а й про збурення  $\lambda(t)$  на вході;
  - знання збурення  $\lambda(t)$  до того, як воно починає діяти на об'єкт  $X$ , дозволяє істотно підвищити ефективність управління / керування;
  - на відміну від класичних технічних систем, тут входні, вихідні та керовані змінні можуть мати як кількісний, так і якісний (семантичний) характер та інші особливості, а також складаються як зі суворих формалізованих, так й інтелектуальних евристик і методів;
  - комбіновані методи мають синергетичний ефект і дозволяють вирішувати безліч проблем, такі як невизначеність, висока розмірність змінних і параметрів, активність тощо;
  - використання в БЗ різноманітних моделей зображення знань, в залежності від специфіки ПГ і характеру задач управління;
  - комбінована побудова ІСК, яка поряд з механізмом логічного виводу і базами даних і знань, які ґрунтуються на декларативному описі ПГ і мають обчислювальні модулі (бібліотеки), необхідні для підтримання формалізованих регулярних *методів*.
5. **Внутрішня сумісність компонент (внутрішній інтерфейс).** Комбінований принцип управління / керування вимагає узгодженого функціонування компонент різного типу (формалізованих, інтелектуальних й евристичних) з метою забезпечення їхньої сумісності для досягнення шуканого синергетичного ефекту.

Належить зазначити, що *штучні нейронні мережі* мають обнадійливі перспективи в теорії та практиці інтелектуальних систем керування організаційно-технічними системами. ◀

Примітка. Для ґрунтовного вивчення питань, пов'язаних з вирішеними та невирішеними проблемами інтелектуальних систем керування організаційно-технічними системами, а саме методами синтезу ІСК та прийняття управлінських рішень, а також керування організаційно-технічними процесами рекомендуємо читачам монографію [86].

---

## 4.8. Управління в дидактичних системах

---

Розвиток цивілізації та навчання. Каузальне, доцільне та цілеспрямоване навчання. Процес навчання та учіння. Педагогічна система, її структура. Дидактична система (ДС), її складові та характерні ознаки. Система управління (керування) індивідуалізованим навчанням. Роль у навчанні НЗЗ і ПЗЗ. Інтелектуальні навчальні системи (ІНС). Експертні навчальні системи (ЕНС). Сутність технології навчання. Основні види технологій навчання. Аспекти процесу навчання. Навчання як керований процес. Кібернетична математична модель ДС. Навчання як процес імовірнісний. Навчання як процес адаптації.

---

Наша цивілізація прогресивно розвивається завдяки тому, що перманентно

відбувається:

- генерація нових теоретичних і практичних знань;
- нагромадження знань як у пам'яті людей, так і на штучних паперових джерелах (рукописах, книгах), а також в електронних накопичувачах [компакт-дисках, жорстких дисках (“вінчестерах”) і в твердотільних накопичувачах – Solid State Drives (SSD)];
- навчання з метою набування знань, алгоритмів діяльності та поведінки.

Поняття “навчання” має статус категорії тому, що воно пронизує всі сутності світу. Як нами показано [113], *навчання* в системах природи, техніки та суспільства раціонально розглядати на трьох якісних рівнях в залежності від ступеня організованості системи:

1. **Каузальне або причинно-наслідкове навчання.** Цей рівень навчання має умовно-рефлекторну природу (“*ситуація – дія*”) та реалізується в складних біологічних об'єктах природи.
2. **Доцільне або розв'язуюче навчання.** Цей рівень навчання відноситься до:
  - 2.1) соціальних систем, в яких *доцільність* є функцією управління, а поведінка є *рефлексивна*. Зокрема, це програмоване навчання, засноване на теорії біхевіоризму (Б.Ф. Скіннер, Н.А. Кроудер);
  - 2.2) складних антропогенних систем (технічних, штучних інтелектуальних) і ґрунтується або на жорстких програмах поведінки, які задані зовні (мікропроцесорні системи, промислові роботи I-го і II-го покоління, системи автоматичного керування тощо), або на генерації власної програми, яка адаптована до змін оточуючого середовища (самонавчаючі системи автоматичного керування, переважна більшість роботів III-го покоління, прості системи штучного інтелекту тощо).
3. **Цілеспрямоване навчання** відноситься до соціальних систем, в яких *цілеспрямованість* є головною функцією управління, а поведінка є *нерефлексивна*. Це найвищий рівень навчання, на яке здатна людина, а також найбільш досконалі нині та перспективні інтелектуальні системи (ІС). Для таких систем *цілеспрямованість* є основою функціонування та розвитку. Зокрема, навчання для ІС на основі нейрокомп'ютерів полягає в сприйнятті, зберіганні, опрацюванні інформації, яка до неї надходить, здатність формування знань з отриманої інформації, а також генерації нових знань та набуття раніше невідомих умінь і навичок. Як результат, ІС спроможна виконувати ряд процедур, розв'язувати задачі деякого класу і самостійно приймати рішення відносно поставленої їй творцем цілей (а в майбутньому –спроможність самостійно формувати цілі поведінки та їх досягати).

Таким чином, навчання є ознакою не тільки соціальних систем, а й систем природи, техніки і технології.

Найбільший досвід людство має в питаннях цілеспрямованого навчання, яке є компонентом *освіти* – цілеспрямованої пізнавальної діяльності людей з отримання знань, умінь та навичок або щодо їх вдосконалення.

**Процес навчання** – динамічна взаємодія (співробітництво, партнерство) викладача та студентів, під час якої здійснюється стимулювання та організація

активної навчально-пізнавальної діяльності студентів з метою засвоєння системи наукових знань, умінь, навичок, розвитку і всебічної вихованості навчаючого (Н. Є. Мойсеюк).

**Соціальна система** – цілісність (єдність), основним елементом якої є люди, їх діяльність, взаємодії, відношення та відносини. Різновидом такої системи є педагогічна система (ПС). Зауважимо, що ПС одночасно відноситься до класів організаційних і ергатичних систем.

Термін “**педагогічна система**”, який відноситься до характеристики навчально-виховного процесу, був обґрунтований російським науковцем Н.В. Кузьміной (нар. в 1923р.). У фундаментальній праці “Методы системного педагогического исследования” (ЛГУ, 1980), Н.В. Кузьміна стверджує, що педагогічну систему можна визначити як множину взаємопов'язаних структурних і функціональних компонентів, які підпорядковані цілям виховання, освіти і навчання підростаючого покоління і дорослих людей. До **структурних компонентів** відносяться *цілі, навчальна інформація, засоби педагогічної комунікації, педагоги й учні*, а до **функціональних компонентів** – *гностичний, проектувальний, конструктивний, комунікативний, організаційний*.

Структура кожної ПС складається із взаємопов'язаної сукупності інваріантних елементів: студентів (*кого необхідно навчати*); мети навчання (*для чого, з якою метою навчати*); змісту навчання (*чому навчати*); дидактичних процесів, технологій (*як навчати*); викладачів і технічних засобів навчання; організаційних форм навчання.

**ДВ**→ Очевидно, що ПС відноситься до типу **соціальних систем**, які входять до класу природних систем тому, що активні елементи цієї системи (студенти) та викладачі є складними біологічно-соціальними об'єктами.

Дійсно, **соціальна система** – це складно організована та впорядкована цілісність, що включає окремих індивідів та соціальні спільноти, які об'єднані різноманітними зв'язками і взаємовідносинами, специфічними за своєю природою, а їх діяльність є цілеспрямована.

З іншої сторони, ПС відноситься до типу **організаційних систем** (організацій), які, в свою чергу, входять до класу змішаних систем. *Організація* (від грец. *ὄργανον* – інструмент) – цільове об'єднання ресурсів для досягнення певної мети. Під ресурсами, насамперед, розуміються люди, як активні ресурси, які об'єднані в соціальні групи (зокрема, в навчальні групи) для досягнення певної колективної мети.

І, нарешті, підсистеми “студент – комп'ютер – Інтернет”, “викладач – комп'ютер – Інтернет” є **ергатичними**, тому також входять в клас змішаних систем. Особливістю організаційних й ергатичних систем є те, що вони активні та реалізують себе внаслідок управління, планування і функціонування.

Таким чином, ПС є складною системою, яка одночасно входить, як складова частина, до соціальних, організаційних й ергатичних метасистем. ◀

Підсистемою педагогіки є **дидактика** (від грец. *Διδακτικός* – повчальний) – розділ педагогіки та теорії освіти, який вивчає проблеми навчання та розкриває закономірності засвоєння знань, умінь і навичок, формування переконань. Очевидно, що дидактика реалізується в дидактичних системах, які значно простіше аніж педагогічні. Формально, вказане записується в позначеннях теорії множин:  $ДС \subset ДС$ .

Компонентний склад **дидактичної системи** (ДС) визначається видом інформаційного процесу, типом засобів передачі інформації та управління пізнавальною діяльністю студентів. Елементами структури дидактичної системи є



цілі, принципи, зміст, методи, форми та засоби навчання. Цілеспрямованість є основою функціонування та розвитку дидактичної системи, яка відноситься до класу соціальних.

**ДВ**→ ДС у вищому навчальному закладі (ВНЗ) складається з таких підсистем (англ. subsystem):

- 1) активної цілеспрямованої підсистеми (SubS1<sup>akt</sup>), в яку входять суб'єкти учіння (студенти);
- 2) активної підсистеми управління навчально-пізнавальною діяльністю студентів, до якої входять суб'єкти викладацької діяльності (SubS2<sup>akt</sup>), або активна підсистема керування з боку навчальної програми персонального комп'ютера (ПК) чи ІНС – інтелектуальної навчальної системи (SubS2<sup>IHC</sup>);
- 3) пасивної (passive) підсистеми (SubS3<sup>pas</sup>), що складається з матеріальних засобів навчальної діяльності (матеріально-технічне, дидактичне, інформаційне (підручники) оснащення);
- 4) підсистеми ідеальних (ideal) продуктів діяльності (SubS4<sup>id</sup>) – дидактичні цілі, мотиви, форми, методи та технології навчання, потоки навчальної інформації та керуючих діянь (впливів), результати навчання тощо;
- 5) зв'язків (connection), відношень і взаємодій між вище вказаними підсистемами та їх елементами (CN);
- 6) природні фактори (factors) та психолого-педагогічні чинники, які обмежують функціонування педагогічної системи (FT).

Враховуючи уведені позначення зобразимо ДС у вигляді такого кортежу:

$$ПС = \langle \text{SubS1}^{\text{akt}}, \text{SubS2}^{\text{akt}}, \text{SubS2}^{\text{IHC}}, \text{SubS3}^{\text{pas}}, \text{SubS4}^{\text{id}}, \text{CN}, \text{FT} \rangle. \blacktriangleleft \quad (4.25)$$

Викладач або ІНС, яка працює в режимі “*вчитель*”, відносяться до **керуючої підсистеми**, а група студентів (студент), пасивні підсистеми і підсистеми ідеальних продуктів діяльності – до **керуваних підсистем**. Підсистеми, які входять до ДС визначають її внутрішнє середовище. Упорядкованість, стійкість та цілісність ДС забезпечується не тільки діями активної підсистеми управління (*органу управління*), але й діями активу групи на чолі зі старостою (*органу самоуправління*). Стратегія функціонування та розвитку ДС обумовлюється шляхом управління з боку вище стоячих закладів управління освітою (об'єктів метасистеми), яке здійснюється у вигляді указів, положень, правил, типових (нормативних) навчальних планів і програм тощо.

**ДВ**→ До **характерних ознак** дидактичних, а тим більше, педагогічних систем відносяться системні інваріанти, тобто ознаки складних систем. Наведемо лише найбільш важливі для ДС ознаки:

- велике число взаємозв'язаних елементів і підсистем;
- різноманітність фізичної природи підсистем і елементів;
- багатомірність системи, що обумовлена наявністю великого числа ієрархічно-структурованих підсистем;
- виняткова різноманітність зв'язків і відношень між елементами ДС: змістовних (речовинних, енергетичних, інформаційних), причинно-наслідкових, детермінованих і ситуаційних, циклічних (зв'язки функціонування і розвитку), зв'язків управління (прямих, зворотних);
- **структурність** – стійка сукупність взаємодій між елементами або між їх властивостями;
- **ієрархічність** – наявність багаторівневої структури, компоненти якої є підсистеми та елементи;
- **цілісність** – підпорядкованість функціонування (дій) всіх компонентів системи (підсистем і елементів) одній меті (призначенню системи);

- відокремленість від навколишнього середовища та активна з ним взаємодія, **відкритість** системи;
- **динамічність** – функціонування системи в часі, а також зміна складу, структури, властивостей і функцій системи;
- наявність певної **організації**, експлікація цього поняття подвійна: група людей, діяльність яких свідомо координується для досягнення поставленої мети і сукупність процесів або дій, які ведуть до утворення і вдосконалення взаємозв'язків між частинами цілого;
- наявність розгалуженої мережі інформаційних потоків та велика ступінь невизначеності в інформаційних характеристиках стану системи;
- **емерджентність** (від англ. emergence – раптове виникнення) – існування інтегративних якостей системи, відмінних від властивостей складових елементів, що визначає внутрішню цілісність системи;
- складність функцій системи, спрямованих на досягнення цілей системи;
- наявність множини критеріїв ефективності функціонування системи як наслідок множини показників ефективності;
- ієрархічність структури управління (керування) системою;
- взаємодія зі зовнішнім середовищем і функціонування в умовах дії випадкових факторів;
- наявність великої кількості показників, які характеризують різноманітні властивості якості системи, переважна більшість яких виражена в слабких шкалах (номінальній, порядковій);
- наявність чималої кількості станів системи та переходів між ними, в тому числі нерівноважних.
- стохастично-детермінована і цілеспрямована поведінка, можливість нагромадження досвіду діяльності ("**поведінка**" – **спосіб реалізації функцій**).

Активні елементи ДС – люди. Отримуючи органами відчуття інформацію (сигнали) про навколишнє середовище (довкілля) живий організм оцінює своє положення по відношенню до границі гомеостазу (вектор  $X$ ) і формує свої дії в залежності від характеру цієї інформації (вектор  $V$ ). Тобто живий організм відноситься до класу систем управління **рефлексивного типу** і формує реальні рухи за допомогою зворотного зв'язку  $\text{РЕАКЦІЯ} = f(\text{СИГНАЛ})$ , тобто формально  $V = f(X)$ , намагаючись відійти від своєї гомеостатичної межі, яка пов'язана з ризиком для здоров'я та життя. «Людина – це природна, жива, відкрита, цілеспрямована, велика, складна, самоорганізована система рефлексивного типу зі змішаним описом змінних, що самоуправляється і (або) управляється зовні» [128, с. 44].

На відміну від простої ергатичної системи "студент – персональний комп'ютер", яка є **системою керування**, традиційна ДС має іншу (емерджентну, інтегративну) властивість. Процес навчання являє собою сукупність двох взаємопов'язаних і відносно самостійних процесів – діяльності викладача, тобто навчаючого (проекування, планування, організація, викладання, інструктування, управління тощо) і діяльності студента – **учіння**, тобто засвоєння знань і способів дій. Механізмом процесу навчання є не передача та засвоєння студентами порцій навчальної інформації, відтворення ними інтелектуальних чи психомоторних дій, а **процес управління** діяльністю студентів. Результатом цього процесу є перетворення "**входів**" (цілей навчання) на "**виходи**" (набуття суб'єктом учіння знань, засвоєння способів дій) [111].

Нехай об'єкт управління (керування) є студент в процесі учіння (індивідуалізованого навчання). Роль системи, яка управляє діями студента є викладач (класичний варіант), або керуюча система – навчальна прикладна програма ПК або інтелектуальна навчальна система (ІНС), зокрема експертна. Зв'язок від керуючої системи до об'єкта керування реалізується **прямим зв'язком**, а від об'єкта керування до керуючої системи – **зворотним** (рис. 4.12).

Очевидно, процес керування пізнавальними та практичними діями студента здійснюється за допомогою прямого зв'язку, при цьому керуюча система є джерелом навчальної інформації. Відбувається зміна станів студента у бажаному напрямі відповідно до поставлених навчальних, розвивальних і виховних цілей заняття. Наявність **негативного зворотного зв'язку** (НЗЗ) дозволяє порівнювати стани студента з бажаними станами, визначається величина актуального

розходження між вказаними станами і вибирається засіб усунення цього розходження, який потім реалізується керуючою системою.

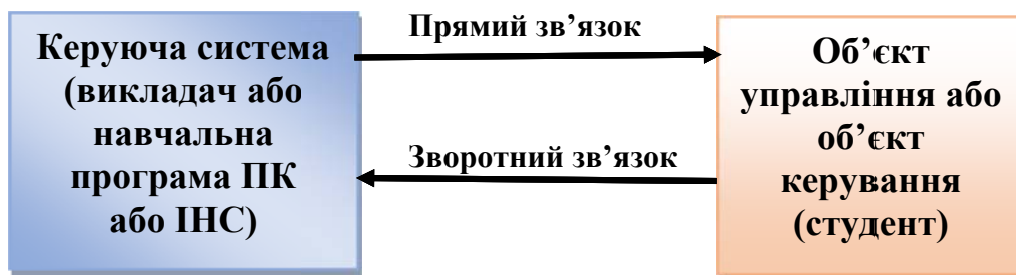


Рис. 4.13. Узагальнена структура системи управління (керування) індивідуалізованим навчанням

Зазначимо, наведена модель індивідуалізованого навчання не враховує конструктивну, творчу активність студента, який здатний не тільки репродуктивно засвоювати навчальний матеріал, але й рухатися за своєю “освітньою траєкторією”. Це говорить про те, що в моделі навчання необхідно враховувати *позитивний зворотній зв'язок* (ПЗЗ).

Досвідчені викладачі враховують обидва вказані зворотні зв'язки. Вони проектуються і в сучасних *експертно-навчальних системах* (ЕНС), які відносяться до програмних автоматизованих систем індивідуалізованого навчання (за змістом, послідовністю вивчення навчального матеріалу, за темпом і когнітивним стилем) за умови наявності *інтелектуального (діалогового) інтерфейсу*, який забезпечує двосторонню передачу інформації між студентом і прикладними програмами, обробляє і коригує інформацію, аналізує запити та генерує вихідні повідомлення, надає студенту “приятне середовище” для індивідуалізованої роботи та пасивну й активну допомогу, адаптується до здібностей і когнітивно-розумової сфери студента, керує інтерактивним процесом засвоєння знань і вмінь [111]. При цьому діалог повинен задовольняти ряду вимог, а саме педагогічності, симетричності та завершеності. ◀

Таким чином, актуалізація компонентів ДС проявляється у *процесі навчання*, в якому здійснюється перетворення потенційної структури змісту навчання на рівні навчального матеріалу в актуальну (діяльнісну, активну) структуру (коли зміст навчання переходить у нову якість – у зміст освіти, основу якого складають особисті знання, вміння та навички). Процес навчання являє собою сукупність двох взаємопов'язаних але самостійних діяльностей – *діяльність викладача* (проектування, конструювання, планування, організація, викладання, інструктування, управління) і *діяльність студента* (учіння або засвоєння знань і способів дій – умінь і навичок). У *методиці* вказані зміни структури суттєво залежать від процедур прийняття рішень викладачем, а в *технології* вони досягаються набором альтернативних алгоритмів учіння та управління (програмного керування).

Акцентуємо увагу на те, що *технологія навчання задає спосіб гарантованого досягнення цілей заняття через алгоритмізацію процедур і дій*. Як обґрунтував автор, до основних ознак, за якими розрізняють технології навчання від методик навчання відносяться проєктивність, алгоритмізованість та гарантоване досягнення діагностично визначених цілей заняття. Алгоритми навчання можуть бути детерміновані, стохастичні (ймовірнісні), нечіткі, евристичні та комбіновані.

Феномен навчання є складним. Насамперед зазначимо, що дослідники розглядають цілий спектр характеристик (аспектів) навчання, а саме *навчання, як процес: цілеспрямований, інформаційно-когнітивний, діяльнісний, комунікаційний,*

*трансляційний, самокеруючий, ситуаційний, адаптивний, індивідуального розвитку, алгоритмізований, самоорганізуючий, саморозвиваючий, організаційний, мотивований і т. д.*

**ДВ**→ Звертаємо увагу на складність і багатоаспектність змісту поняття "процес навчання". Достатньо буде покликатися на дослідження **навчання як процесу**:

- *передачі соціального досвіду і формування ЗУН і цінностей* (Я.А. Коменський, І.Г. Песталоцці, І.Ф. Гербарт, М.М. Скаткін, І.Я. Лернер, В.В. Красівський, П.Я. Гальперин та ін.);
- *спілкування та комунікації* (Дж. Брунер, Т.І. Шамова, Є.І. Пассов та інші);
- *мотивованого* (Ю.К. Бабанський, М.О. Данилов, Н.А. Менчинська, Л.І. Божович та ін.);
- *цілеспрямованого* (Н.В. Кузьміна, В.С. Безрукова, І.А. Володарська, О.Є. Коваленко та ін.);
- *діяльнісного* (О.Н.Леонтьєв, П.Я.Гальперин, Є.Н.Кабанова-Меллер, Г.О.Атанов та ін.);
- *інформаційно-когнітивного* (Л.Б. Ітельсон, Н.Ф. Тализіна, Л.Т. Турбович, П.П. Блонський та ін.);
- *алгоритмізованого* (Л.Н. Ланда, В.П. Беспалько, І. Марев та ін.);
- *імовірнісного* (Х. Франк, Л.А. Растригін, О.Г. Гофман та ін. );
- *організаційного* (Ю.К. Бабанський, В.К. Дьяченко, Р.С. Гуревич та ін.);
- *трансляції об'єктивованого навчального знання в особисте* (В.В. Красівський, І.Я. Лернер, О.І. Ляшенко та ін.);
- *індивідуального розвитку* (Д.Б. Ельконін, В.В. Давидов, Л.В. Занков, Л. Клінберг та ін.);
- *керованого* (С.І. Архангельський, Н.Ф. Тализіна, Є.І. Машбиць, В.П. Беспалько, Т.О. Дмитренко та ін.);
- *самокеруючого* (Дж. Рассел, П.А. Юцявичене, А.П. Беляєва та ін.);
- *адаптивного* (Л.А. Растригін, В.В. Одегова, Є.А. Ямбург, М.Х. Еренштейн, В.В. Гузеєв, П.Л. Брусиловський та ін.);
- *самоорганізуючого* (Г. Паск, Є.П. Джугелі, А.В. Непомнящий та ін.);
- *саморозвиваючого* (М. Монтессори, І.С. Якиманська, Г.К. Селевко, Т.І. Шамова та ін.);
- *ситуаційного* (А.А. Вербицький, А.М. Матюшкін, М.І. Махмутов та ін.);
- *гнучкого* (М.А. Чошанов, М.Д. Миронова, І.Б. Снновський та ін.);
- *формування індивідуальних моделей пізнання* (Л.С. Виготський, С.Л. Рубінштейн, І.С. Якиманська, С.У. Гончаренко та ін.).

Наведене різноманіття дефініцій говорить про складність феномену навчання в соціумі. Як показав І.П. Підласий, у процесі навчання діють більше ніж 300 різних чинників (стабільних і змінних), врахувати які загалом практично не можливо. ◀

Із всіх вище перерахованих ознак процесу навчання виберемо найголовніші, а саме: **процес навчання** – *керований, імовірнісний та адаптивний*.

Розглянуті вище дуальні динамічні системи ("викладач – студент", "студент – персональний комп'ютер") за умови репродуктивного навчання в першому наближенні відносяться до класу систем управління рефлексивного типу. Проте це не означає, що, власне, формалізований механізм управління є простим. Крім цього, в ДС може реалізуватися управління нереліксивного типу. Дамо аналітичне пояснення вказаним механізмам управління відповідно запропонованого нами концептуального підходу з дослідження процесів функціонування та розвитку ПС [103].

**П**→ Для формалізації тези про те, що **навчання є керований процес**, скористаємося сучасною теорією управління динамічними системами, створеною видатними математиками Л.С. Понтрягіним, М.М. Моїсеєвим, В.С. Міхайловим та ін. Суть цієї теорії полягає в побудові математичної моделі на основі системного аналізу об'єкта управління і синтезу алгоритму управління (для технічних систем – алгоритму керування) з метою отримання бажаних характеристик протікання процесу або реалізації цілей управління (керування).

Нехай  $\mathbf{x}$  –  $n$ -мірний фазовий вектор деяких характеристик ДС, значення яких моделюються;  $f$  – деяка функція;  $t$  – час;  $\lambda$  –  $k$ -мірний ( $k \leq n$ ) **вектор збурень** (зовнішніх впливів), який може бути:

- 1) *стохастичним* (випадковим, імовірнісним) і задається випадковою вектор-функцією  $\lambda(t)$  або щільністю розподілу ймовірностей випадкової величини;
- 2) *нечітким* (англ. fuzzy) і задається характеристичною функцією підмножини  $M$  універсальної множини  $\mathbb{R}$  ( $M \subseteq \mathbb{R}$ ), яка є *функцією належності*  $\mu_M(x)$  Л. Заде, де  $M = \{x, \mu_M(x) | x \in \mathbb{R}\}$ ;
- 3) *нестохастично невизначеним* в сенсі неповноти наших знань про досліджуване явище.

Виходячи з праці М.М. Моїсеєва [140], можна записати **математичну модель дуальної ДС** у вигляді звичайного диференціального рівняння:

$$\dot{\mathbf{x}} = f[\mathbf{x}, \mathbf{u}(t), \lambda(t), t], \quad (4.26)$$

де:  $\dot{\mathbf{x}}$  – перша похідна від фазового вектора  $\mathbf{x}$ ;  $\mathbf{u}(t)$  – вектор-функція розмірності  $m \leq n$ , який має назву **управління (керування)**, або **керуючий вектор**, або **“вільна”** вектор-функція (знаходиться в розпорядженні викладача).

Розглянемо випадок навчання в дуальній ДС, яка відносяться до класу **систем рефлексивного типу**. Викладач, який приймає рішення (або навчальна програма ПК чи ІНС) вибирає управління (керування)  $\mathbf{u}(t)$ , яке може бути функцією часу ( $\mathbf{u} = \mathbf{u}(t)$ ), а також виконувати роль фазового вектору ( $\mathbf{u} = \mathbf{u}(x)$ ), збурення ( $\mathbf{u} = \mathbf{u}(\lambda)$ ), або мати більш загальний вигляд ( $\mathbf{u} = \mathbf{u}(t, x, \lambda)$ ). Остання рівність означає, що викладач (програма комп'ютера) знає (активує) алгоритм управління (керування), при відомих параметрах об'єкта управління (об'єкта керування) та параметрів зовнішнього середовища.

Очевидно, на величини  $\mathbf{x}$ ,  $\mathbf{u}(t)$ ,  $\lambda(t)$  накладені обмеження:

$$\mathbf{x} \in G_x, \forall t; \mathbf{u}(t) \in G_u, \forall t, x, \lambda; \lambda(t) \in G_\lambda, \forall t \quad (4.27)$$

Якщо не має мети управління, то говорити про управління немає сенсу. Будемо розрізняти терміни **“мета управління”** і **“мета заняття”**.

**Мета управління процесом навчання** – це суб'єктивне уявлення викладача про шляхи і способи досягнення мети заняття та про ті мотиви, якими належить керуватися при виборі вільної функції  $\mathbf{u}(t, x, \lambda)$ . Спосіб досягнення мети – це **стратегія**. Отже, формалізованим описом способів досягнення мети заняття, тобто описом стратегій, є вільна функція, а саме **закон управління**  $\mathbf{u}(t, x, \lambda)$ . Безсумнівно, що **“одна із основних задач теорії управління – пошук закону управління по заданій меті”** [140, с. 72].

Управління (керування) учінням в ДС класифікується за **функціями**: 1) прогнозування, проектування і планування змісту та технології навчання, 2) організація, 3) мотивація, 4) цілепокладання, 5) власне керування процесом учіння або самокерування, 6) контроль і 7) аналіз результатів навчання.

Головними складовими наведених функцій є **операції** (цілеспрямовані дії) – це цілепокладання та відшукання стратегій (проблеми, пов'язані з процесом постановки мети заняття нами висвітлені в статті [115]). Суб'єкт, який формулює мету операції повинен врахувати наявність **ресурсів** (часових, інформаційних, інтелектуальних, інструментальних тощо), які є підґрунтям реалізації **стратегій**, які в свою чергу є можливими способами використання ресурсів. Формалізація вказаних операцій (опис на мові математики) є майже завжди складна проблема тому, що передбачає побудову **моделі операції** – сукупність всіх умов і обмежень. До обмежень відносяться як фізичні (наприклад, закони збереження), так і критеріальні.

Наявність простору стратегій задається кінцевою множиною  $X$  **альтернатив**  $x_i$  ( $i = \overline{1, N}$ ), тобто методів, способів, варіантів або / і засобів досягнення мети. Вимогою для оцінки альтернатив, мірою оцінки є критерій.

**Критерій** або **цільова функція** (від лат. *critērium*) – це мірило, ознака, вимога, правило чи процедура, які необхідні і достатні для того, щоб на їх основі здійснювати оцінювання, визначення або класифікацію будь-чого.

Нехай  $x$  – деяка альтернатива з множини  $X$ . Вважаємо, що для всіх  $x \in X$  можна задати цільову функцію  $q(x)$ , яка має таку властивість: якщо альтернатива  $x_2$  переважає альтернативу  $x_1$ , тобто  $x_2 > x_1$ , то  $q(x_2) > q(x_1)$ , і навпаки. Якщо вибір будь-якої альтернативи зумовлює однозначно відомі наслідки (вибір відбувається в умовах визначеності) і заданий критерій  $q(x)$  чисельно виражає оцінку цих наслідків, то найкраща альтернатива  $x^*$  – така, за якої критерій  $q(x)$  набуває свого найбільшого значення:

$$x^* = \arg \max q(x), \quad x \in X. \quad (4.28)$$

Очевидно, що задача відшукування  $x^*$  проста за постановкою, проте складна для розв’язання, оскільки можливість і метод її розв’язання залежать від характеру множини  $X$  (скінченна, зліченна чи континуальна), характеру критерію ( $q(x)$  – функція чи функціонал і яка чи який саме). Окрім цього, оцінювання за одним критерієм може дати далеко не достовірні результати. Наприклад, оцінювання особистих знань студента з певної теми навчальної дисципліни без оцінювання вмінь і навичок. Це означає необхідність застосування трьох критеріїв. Отже, для оцінювання альтернатив в умовах визначеності природно використовувати декілька критеріїв  $q_i(x)$ ,  $i = \overline{1, m}$ .

Повертаючись до **проблеми управління процесом навчання**, зазначимо, що вона багатокритеріальна і містить в собі різноманітні **невизначеності**: невизначеність дидактичних цілей (навчальних, розвивальних, виховних), невизначеність стратегій (способів досягнення вказаних цілей заняття), невизначеності навколишнього середовища чи оточення (обставин процесу навчання), невизначеності навчально-пізнавальних дій студента і невизначеності, пов’язані з наслідками збурюючих впливів  $\lambda$  на динамічну ДС. Як наслідок, спосіб досягнення мети заняття формалізується відомою функцією  $u = u(x, \lambda, t)$  – **закон управління (керування)**.

**Мета управління** формується в термінах максимізації деякого функціоналу  $J(u)$ , а саме:

$$J(u) = \int_0^T F(x, u, t) dt \rightarrow \max, \quad (4.29)$$

де  $T$  – часова тривалість заняття.

Розглянемо випадок продуктивного (евристичного, творчого) навчання. У цьому випадку дуальна ДС відносяться до класу **систем нереклексивного типу**. У даному випадку студент із об’єкта управління перетворюється в **суб’єкт учіння**. У цьому випадку зворотні зв’язки не можуть бути реалізовані за допомогою найпростіших функцій поведінки рефлексивного типу: “стимул  $\rightarrow$  реакція”. Діяльність суб’єктів навчального процесу пов’язана з тим, що вони мають здатності аналізувати процес навчання, передбачати результати своїх дій, будувати гіпотези про поведінку інших студентів і викладача, передбачати їх дії тощо. Вказане відноситься і до систем типу “викладач – група студентів”.

Розглянемо традиційну ДС, яка має в своєму складі групу студентів, що навчаються. На відміну від дуальних систем “викладач – студент” і “комп’ютер – студент”, система типу “викладач – група студентів” кардинально відрізняється інтегративною якістю. Задача ускладнюється тоді, коли замість системи управління з одним об’єктом розглядається **кібернетична система – група суб’єктів, кожний із яких має свої власні цілі та можливість впливати на поведінку системи в своїх власних інтересах**.

Зазначимо, що на відміну від систем рефлексивного типу, сучасні системи штучного інтелекту, роботи третього покоління, ергатичні системи (“людина – машина”), соціально-технічні системи, соціальні системи, кібернетичні системи, економічні системи тощо – складні **системи нереклексивного типу**. Для таких систем зв’язок “сигнал  $\Rightarrow$  реакція” вже не має характеру рефлексу. Це означає, що в залежності  $V = f(X)$  функція  $f$  стає складним оператором  $F$ , який породжує мноозначність можливих дій, пов’язаних з множиною цілей поведінки, які дуже складно формалізувати.

Як відзначає М.М. Моїсеєв, головне те, що "...кібернетична система відрізняється насамперед існуванням багатьох суб'єктів, кожний з яких має можливість впливати на систему в цілому, змінювати характер її руху в своїх власних інтересах" [140, с. 148]. Головна особливість системи нереклексивного типу в тому, що в ній існують *вільні функції*, якими може розпорядитися в своїх інтересах суб'єкт учіння, який асоційований з ДС. Очевидно, що традиційна багатоелементна ДС є *динамічною кібернетичною системою нереклексивного типу*, проте вона залишається керованою по суті.

Як правило, надзвичайно важко формалізувати процес навчання в кібернетичній ДС. Для цього необхідно попередньо розкрити діючі невизначеності за допомогою експертних оцінок, а далі описати процес навчання методом параметризації в формі функцій поведінки.

*Математична модель кібернетичної ДС*, яка відноситься до числа стохастичних, можна подати у вигляді:

$$\dot{x} = f[x, u(t), w_1(t), w_2(t), \dots, w_k(t), \lambda(t), \zeta(t), t], \quad (4.30)$$

де:  $x$  – перша похідна від фазового вектору  $x$ ;  $u(t)$  – керуюча функція, яка звично знаходиться в розпорядженні викладача;  $w_j(t)$ ,  $j = \overline{1, k}$  – керуючі функції, які знаходяться в розпорядженні студентів ( $k$  – число студентів в навчальній групі);  $\lambda(t)$  – випадкова вектор-функція зовнішніх збурень і завад;  $\zeta(t)$  – випадкова вектор-функція внутрішніх збурень і завад.

Зазначимо, що обставини функціонування і розвитку ДС, тобто процесу навчання, задаються випадковими векторами  $\lambda(t)$  і  $\zeta(t)$  з відомим законом розподілу, а саме нормальним (законом Гаусса).

Кожний суб'єкт ДС має свою мету щодо засвоєння змісту навчального матеріалу теми програми. Як правило, вказану мету не знає викладач. Цю мету можна сформулювати в термінах максимізації деякого функціоналу:

$$J(w_j) = \int_0^T F(x, w_j, t) dt \rightarrow \max. \quad (4.31)$$

Таким чином, ми маємо скінченну множину цільових функцій  $J(w_j)$ ,  $j = \overline{1, k}$ , які гомоморфно відображають діяльність кожного студента

$$\langle J(w_1), J(w_2), \dots, J(w_k) \rangle \quad (4.32)$$

і цільову функцію викладача, який здійснює управління  $u(t)$  навчально-пізнавальною та навчально-практичною діяльністю студентів

$$J(u) = \int_0^T F(x, u, t) dt \rightarrow \max. \quad (4.33)$$

Таким чином, викладач на занятті при реалізації власної стратегії навчання, яка конкретизується певними методиками і технологіями навчання, повинен враховувати не тільки зовнішню і внутрішню обстановку, які формалізуються випадковими вектор-функціями  $\{\lambda(t), \zeta(t)\}$ , але й суб'єктивні цілі та інтелектуальні можливості студентів, щодо засвоєння навчального матеріалу, а також (якщо це актуально) стани кожного студента, як активного елемента ДС.

Відповідно до державного стандарту ДСТУ ISO 9000-2015 [68], вважаємо, що *ефективність навчання*  $\Phi$  – це співвідношення між досягнутим результатом  $\mathcal{A}$  і використаними навчальними ресурсами  $\mathcal{B} = \{b_i\}$ ,  $i \in \overline{1, \Gamma}$  (інформаційними, інтелектуальними, часовими тощо), тобто  $\Phi = f(\mathcal{A}, \mathcal{B})$ , причому кореляційна залежність  $\Phi$  від  $\mathcal{A}$  є позитивною, а  $\Phi$  від  $\mathcal{B}$  – негативною. У свою чергу, результативність навчання  $\mathcal{A}$  визначається багатьма чинниками, серед яких істотну роль відіграє характер управління (керування) навчально-пізнавальною,

навчально-практичною, навчально-проектувальною, експериментальною та творчою діяльністю студентів.

Як ми вже зазначали, суб'єкти учіння є *об'єктом управління (керування)*. Правильно говорити, що об'єктом управління (керування) не є сам студент, а є його *навчальна діяльність*. Проте кожний студент одночасно є *суб'єктом самокерування*, активним елементом ДС, поведінка якого має в залежності від навчально-педагогічної ситуації *детермінований* (причинно-обумовлений) або *стохастичний* (випадковий) характер. Поточний стан ДС характеризується неповною апіорною інформацією про суб'єкти учіння і діючого на них середовища, як внутрішнього так і зовнішнього (метасистеми). Ця інформація змінюється в міру того, як накопичується інформація про природу процесу навчання і про поведінку суб'єктів учіння, а також при удосконаленні алгоритму функціонування у процесі самонавчання студентів. Ось чому *цілеспрямоване навчання* – це *процес управління (керування) з адаптацією*.

Обґрунтуємо висловлену вище тезу. Стани розвитку ПС не відповідають відомому принципу метафізичної логіки (“*або – або*”) тому, що за принципом діалектичної логіки (“*i – i'*”) вони поєднують протилежні, займаючи певний проміжний стан, який визначається навчально-педагогічною ситуацією. Цей стан, як правило, знаходиться між жорстко *детермінованими процесами* (визначеними, причинно-обумовленими, негентропійними) і *стохастичними процесами* (випадковими, непередбаченими, дезорганізаційними, ентропійними). Превальювання гнучких зв'язків і відношень над жорсткими обумовлює можливість *адаптивного управління і самоуправління*, а також узгоджування дій активних елементів на рівні співробітництва (кооперації). Суттєвою особливістю ПС є залежність її загального функціонування від поведінки активних підсистем. Завдяки наявності активних елементів (студент, викладач, програма комп'ютера), ця залежність нелінійна, стохастично-детермінована і варіюється в залежності від *навчально-педагогічної ситуації* від “жорсткої” (функціональної) до “м'якої” (кореляційної). Відносно широкий діапазон можливих реакцій керованої підсистеми на діяння керуючої можна пояснити значною складністю і мінливістю соціально-психологічних процесів, які опосередковують діяльність студента і викладача.

В теорії менеджменту стверджується, що *контроль* є необхідною складовою управління, одна із його функцій, що забезпечує досягнення мети або кінцевих результатів діяльності організації. Це уявлення не суперечать визначенню, за яким „ *управління* – скоординована діяльність, яка полягає в спрямуванні та контролюванні організації” [68, с. 7]. Ось чому, керований процес засвоєння знань і вмінь повинен бути *контрольованим* тому, що лише в цьому випадку зростає ймовірність одержати від кожного студента бажаний *освітній продукт* за обмежених часових та інших навчальних ресурсів.

*Гнучкість управління* в навчанні спричиняє до того, що функції викладача можуть варіюватися від інформаційно-контролюючої до консультативно-координуючої. При цьому безпосереднє управління в навчанні можна звести або до мінімуму (*індивідуалізація навчання*) або до нуля (*самоосвіта*). Інформаційна функція викладача, яка була притаманна традиційному навчанню, в основному, перекладається на зміст традиційного або електронного підручника.

Нині функції викладача (крім пояснення складного навчального матеріалу) зміщуються у сфери прогнозування, моделювання, проектування і планування цілей і змісту навчання, написання електронних конспектів лекцій і навчальних підручників, підготовки дидактичної та матеріальної бази занять, організації навчального процесу, координації роботи групи студентів, індивідуального консультування та допомоги тощо.

Вище сказане вельми актуально в умовах модульно-кредитного навчання, в якому акцент ставиться не на викладання, а на самостійній *індивідуалізованій праці* студента зі змістовим модулем на певній *ступені активності*: 1) репродукційна, 2) інтерпретуюча і 3) творча. Такий підхід базується на ідеях Дж. Дьюї, засновника інструментальної педагогіки, в основі якої учень є не тільки об'єкт, а й суб'єкт процесу навчання. Причому, на відміну від ідей класичної педагогіки (І. Герbart), за якими весь тягар навчання лежав на активності вчителя і пам'яті учня, Дж. Дьюї центр ваги переніс на самостійну роботу учня. Його ідея “*вчити через діяння*”, лежить в основі сучасних технологій навчання. Індивідуальне засвоєння різних видів діяльності або оволодіння соціальним досвідом – ядро концепції дидактичного прагматизму



(Дж. Дьюї, Г. Кершенштайнер та інші). До цього потрібно додати також гасло маніпулятивної педагогіки (М. Монтесорі): “Допоможи мені це зробити самому”.

І, нарешті, розглянемо вибір моделі ДС в двох випадках: 1) при мінімальних збурених діях зовнішнього та внутрішнього середовищ, якими можна нехтувати і 2) при значних збурених діях, якими нехтувати не можна.

У першому випадку при проектуванні технологій навчання за основу треба брати *кібернетичну модель ДС*, яка враховує механізм процесу навчання, що переводить „вхід” у “вихід”, тобто цілеспрямовано змінює когнітивний стан студента із початкового (вихідна навчальна ситуація) у кінцевий стан, якому відповідає зона цільової ситуації.

Другий випадок характеризується наявністю невизначених умов і змінних збурених впливів, що зумовлює розглядати *синергетичну модель ДС*, яка пояснює процеси адаптації активних елементів (студентів, викладача), їх самоорганізацію та кооперативну поведінку в процесі навчання. При цьому цілеспрямоване навчання розглядається як процес “ручного” управління (програмного керування) з адаптацією (у розділі 5 буде детальне пояснення). ◀

Як ми раніше відзначили, що навчання є процесом адаптивним й імовірнісним. Будемо слідувати послідовності пояснення, яке виклав автор концепції адаптації складних систем Л.А. Растригін [див. Растригін Л.А. Вычислительные машины, системы, сети... / Л.А. Растригин. – М.: Наука, 1982. – 224 с.].

**П→** Спочатку розглянемо *лінійну тактику*, яка широко використовується як приклад раціональної поведінки живих істот (біологічних систем). Ця тактика спирається на таке очевидне міркування: якщо якась дія (альтернатива А) приводить до успіху, то можна цю дію повторювати багаторазово. У разі невдачі суб'єкт звертається до іншого дії (альтернатива Б). Якщо успіх застосування альтернативи позначити плюсом (+), а невдачу – мінусом (–), то алгоритм лінійної тактики зображується у вигляді графу на рис. 4.14 (а). Тут кружками позначені дві альтернативи: перша (А) і друга (Б). Стрілки вказують переходи, які реалізують роботу алгоритму, а значки поруч зі стрілками – умови, при яких слід користуватися даною стрілкою. Як видно з рисунка, що при успіху (+) вибирається та ж альтернатива, а при невдачі (–) вона змінюється на іншу. В цьому і складається лінійна тактика без навчання. Недоліки: діючи таким чином, ми ніколи не вибираємо остаточно одну з альтернатив – кращу. Дійсно, досить однієї невдачі, щоб відповідно до лінійної тактикою змінити альтернативу.

Розглянемо лінійну тактику з навчанням (рис. 4.14, б). Тут в дужках позначені ймовірності реалізації відповідних переходів. Так при невдачі на першій альтернативі (А) з ймовірністю  $p$  вона зберігається і з ймовірністю  $1 - p$  змінюється на Б. При невдалій роботі другої альтернативи Б вона зберігається з ймовірністю  $1 - p$  і змінюється на А з ймовірністю  $p$ .

Таким чином, при заданому  $p$  цей алгоритм визначено повністю і його неважко реалізувати. Для цього знадобитися лише “розіграти” події із заданою ймовірністю, наприклад, методом Монте-Карло.

Теорія стверджує, що величина  $p$  є ймовірність того, що перша альтернатива (А) краще другої (Б).

Апостеріорі (на основі досвіду, експерименту):

- якщо в результаті навчання ймовірність  $p$  прагне до одиниці ( $p \rightarrow 1$ ), то найчастіше реалізується перша альтернатива А;
- якщо краще друга альтернатива Б, то в процесі навчання ймовірність  $p$  прямує до нуля ( $p \rightarrow 0$ ) і майже кожен раз, незалежно від результатів реалізується друга альтернатива Б;
- якщо  $p = 0,5$ , то маємо алгоритм з лінійної тактикою (зміна альтернативи відбувається не відразу, а з ймовірністю  $p = 0,5$ ).

Зробимо одне важливе зауваження. Розглянутий вище алгоритм лінійної тактики з навчанням буде ефективним лише у випадку, коли середовище веде себе достатньо стабільно (стаціонарно).

Якщо середовище, в якому відбувається подія (ситуація) дуже нестабільне, то краще використовувати алгоритм лінійної тактики.

Розглянутий другий приклад – це *стратегія альтернативної адаптації*. Прикладів можна

назвати безліч:

- **адаптація в ергатичних системах** (адаптація комп'ютера до користувача, автомобіля до водія, крісла в трамваї до пасажирів тощо);
- **соціальна адаптація** (адаптація викладача матеріалу викладачем до розумових можливостей та попередніх знань студентів, психологічна адаптація нового працівника до колективу, адаптація дружини до чоловіка тощо);
- **фізіологічна адаптація** людини до навколишнього природного середовища (адаптація людини до спеки, до холоду, до нестачі кисню тощо).

Повертаючись до контексту дидактики, зазначимо, що **навчання** [управління пізнавальною діяльністю студентів з боку викладача чи програми комп'ютера (експертної системи)] або **самоучіння, самоосвіта** [самоуправління студентом власною пізнавальною діяльністю] є певними формами адаптації.

Очевидно, що пропедевтична (попередня) підготовка полегшує адаптацію. Наприклад, знання англійської мови значно збільшує ступінь пристосування студента до програмування на ЕОМ та полегшує спілкування з іноземцями.

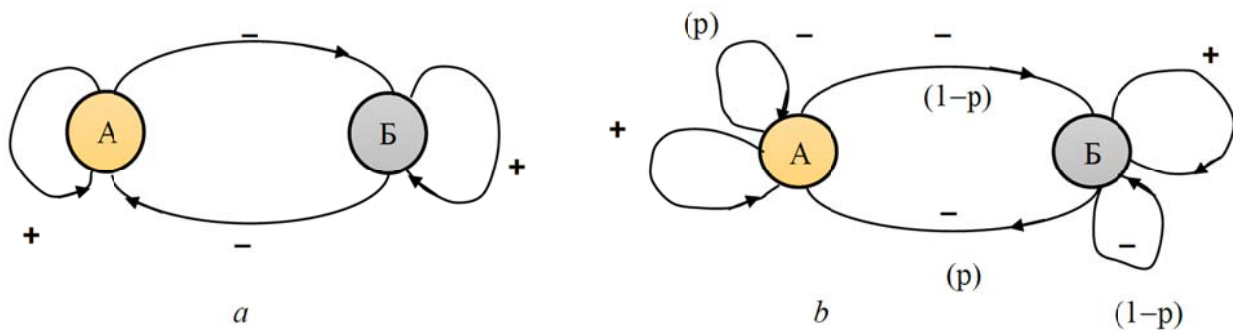


Рис. 4.14. Лінійна тактика (а) і алгоритм лінійної тактики з навчанням (b)

Другим висновком є те, що **навчання завжди є ймовірнісним процесом**: в процесі навчання ми зазвичай нічого не вивчаємо напевно, а лише з певною ймовірністю. Якщо ця ймовірність велика, то маємо успішне навчання, а якщо ймовірність мала – незадовільне чи недостатнє навчання. ◀

Завершуючи підрозділ, зробимо висновки:

1. Процес навчання починається з вибору мети, досягнення якої визначає сенс діяльності студентів і викладача. Мета обумовлює напрям розвитку послідовних дій, тобто є функцією напрямку, а мотив – функція спонукання до дій.
2. Процес навчання являє собою сукупність двох взаємопов'язаних, але самостійних діяльностей – **діяльність викладача** (проектування, конструювання, планування, організація, викладання, інструктування, управління) і **діяльність студента** (учіння або засвоєння знань, способів дій).
3. Процес навчання – це цілеспрямований процес функціонування та розвитку ДС, який має детерміновано-схоластичний характер. У залежності від характеру управління з боку викладача (чи керування з боку програми ПК), а саме „жорсткого” або „м'якого”, навчання поділяється на детерміноване, адаптивне, стохастичне або комбіноване.
4. Механізмом процесу навчання є не передача та засвоєння студентами порцій навчальної інформації або відтворення ними інтелектуальних чи психомоторних дій, а процес управління (керування) навчально-пізнавальною

(навчально-практичною, навчально-виробничою, експериментальною, творчою) діяльністю студентів і процес індивідуального розвитку, результатом якого є формування особистості.

5. Алгоритм навчальної діяльності не завжди є детермінованим (строго визначеним), а може бути ймовірнісним, нечітким або комбінованим. Він повинен “обслуговувати” як традиційні, так й інноваційні технології навчання (ймовірнісні, інтерактивні, евристичні, пошукові, винахідницькі тощо). Власне сама технологія задає спосіб досягнення мети заняття через алгоритмізацію процедур і дій.
6. Процес навчання є завжди процесом адаптації. Ось чому навчання за своєю суттю є *гнучким* (враховуються стани студентів) і *адаптивним* (розв’язуються завдання керування учінням в умовах невизначених або змінних зовнішніх і внутрішніх збуджуючих впливів). Нами експериментально доведено, що адаптація ускладнюється при просуванні студента за рівнями навчання (рис. 4.15), які встановив у 1956 р. американський вчений Бенджамін Блум (1913-1999). Це такі рівні, як: знання, розуміння, застосування, аналіз, синтез, оцінювання [223].
7. Процес навчання – це не тільки інформаційний, когнітивний, а й імовірнісний процес, так як поставлена мета заняття не досягається напевно (обов’язково, точно), а з певною ймовірністю  $p$ , яка залежить від тривалості заняття ( $\Delta t$ ), та є не меншою деякого граничного значення  $p_0$  ( $0 < p_0 \leq 1$ ), тобто  $p(\Delta t) \geq p_0$  (імовірнісний характер досягнення мети заняття обумовлений множиною збурень в ДС і в надсистемі, яким протидіють управлінські дії з боку викладача).



Рис. 4.15. Ієрархічна класифікація дидактичних цілей за елементами засвоєння (таксономія Б. Блума)

8. Математична модель кібернетичної ДС відрізняється від моделі дуальної ДС наявністю керуючих функцій  $w_j(t)$ ,  $j = \overline{1, k}$ , які знаходяться в розпорядженні студентів і випадкової вектор-функції внутрішніх збурень і завад  $\zeta(t)$ .
9. Зміна навчальної ситуації в часі породжує *процес навчання*. Навчальна ситуація вважається заданою, якщо вказуються властивості (характеристики,

параметри, ознаки тощо) суб'єктів і об'єктів ДС, відношень і зв'язків між ними, або сукупність взаємопов'язаних суб'єктивних чинників і об'єктивних факторів, або система конкретних обставин, які мають місце в момент часу  $t$ .

10. Процес навчання повинен бути таким, щоб мінімізувати розсіювання рівнів компетентності студентів  $L_i, i = \overline{1, N}$  у навчальній групі чисельністю  $N$  відносно середнього значення компетентності  $\bar{L}$ . Це означає виконання процедури мінімізації середнього квадратичного відхилення  $\sigma$ .

---

#### 4.9. Роботизований цех як приклад кібернетичної системи

---

Проблема моделювання технологічного процесу на роботизованій виробничій ділянці. Гнучке автоматизоване виробництво. Математична модель технологічного процесу. Інваріантність законів природи, техніки та соціуму. Єдність науки.

---

Повернемося до інтелектуальних систем. Розглянемо роботизований цех серійного промислового виробництва, в якому роль працівників (робітників) відіграють інтелектуальні роботи. Останні можуть розглядатися як активні елементи кібернетичної системи – "...сукупність зв'язаних один з одним об'єктів (елементів системи), здатних сприймати, зберігати, переробляти інформацію, а також обмінюватися інформацією" [185, с. 265]. Іншими словами, промислові роботи замінюють суб'єкти виробничої діяльності (працівників). Визнаємо гомоморфізм системи із промислових роботів та організаційної системи (виробничого колективу) як умову подальших міркувань.

Ще 30 років назад вважали, що "...кібернетична система відрізняється насамперед існуванням багатьох суб'єктів, кожний з яких має можливість впливати на систему в цілому, змінювати характер її руху в своїх власних інтересах" [140, с. 148]. Тоді ж було встановлено, що головною особливістю цієї системи (нерефлексивного типу) в тому, що в ній існують *вільні функції*, якими може розпорядитися в своїх інтересах суб'єкт діяльності, який асоційований з системою.

Зазначимо, що моделювати цілеспрямовану поведінку вказаних (людських і машинних) систем нерефлексивного типу, а також обробляти статистичні дані багатопроцесорними системами досить складно.

За нашим припущенням, людина – активний елемент системи (організації, виробництва). Аналогічно, кожний промисловий робот, як активний елемент, має вільні функції, тобто може реалізувати альтернативний вибір.

**П**→ Розглянемо *роботизовану виробничу ділянку* (РВД) гнучкого автоматизованого виробництва – структурну одиницю виробничого цеху, яка складається з певної групи робочих місць, об'єднаних за тими чи іншими ознаками, відповідно до типу технологічного процесу.

РВД складається з декількох *роботизованих технологічних комплексів* (РТК), кожний з яких складається з промислового робота (ПР) і певного технологічного обладнання (прес, металорізальний верстат, зварювальна установка, установка для нанесення покриттів і т. д.).

Нехай РВД призначена для виконання кількох послідовних технологічних операцій. РТК зв'язані між собою автоматизованою транспортною системою з допоміжним обладнанням та автоматизованою системою складування. Робота технологічного обладнання РВД координується

системою групового керування від центральної ЕОМ, яка з'єднана з відповідними датчиками і виходом систем керування промислових роботів РТК.

*Гнучке автоматизоване виробництво* базується на багатопроцесорній розподіленій системі керування, яка забезпечує зміну програми функціонування компонентів і тим самим здійснює швидко перебудову технології при зміні виробничого завдання.

Будемо вважати РВД кібернетичною системою (КС), яка складається з  $k$  роботизованих технологічних комплексів, або  $k$  *активних елементів* (промислових роботів), кожен з яких запрограмований на конкретну послідовність технологічних операцій на своєму робочому місці.

Нехай  $W_j^i(t)$ ,  $j = \overline{1, k}$ ;  $i = \overline{1, m}$  – керуючі функції (максимальна кількість  $m$ ), на які запрограмований кожний РТК,  $t$  – поточний час. Тоді маємо скінченну множину цільових функцій  $J [W_j^i(t)]$ ,  $j = \overline{1, k}$ ,  $i = \overline{1, m}$ , які гомоморфно відображають цілі функціонування кожного  $j$ -го ПР:

$$\langle J [W_1^i(t)], J [W_2^i(t)], \dots, J [W_k^i(t)] \rangle, \quad j = \overline{1, k}, i = \overline{1, m}. \quad (4.34)$$

Кожний активний елемент кібернетичної системи запрограмований на досягнення своєї кінцевої мети щодо виконання запланованих технологічних операцій. Цю мету можна сформулювати в термінах максимізації деякого функціоналу  $F$ :

$$J (W_j^i) = \int_0^T F (x, W_j^i(t), t) dt \rightarrow \max, \quad j = \overline{1, k}, i = \overline{1, m}, \quad (4.35)$$

де  $x$  –  $r$ -мірний фазовий вектор деяких характеристик КС,  $T$  – проміжок часу досягнення мети  $j$ -им ПР.

Так, як технологічний процес не автоматичний, а автоматизований, то за ним спостерігає інженер-оператор, який щонайменше здійснює контроль за функціонуванням всіх роботів, а в цілому управляє вказаним процесом, враховуючи можливість браку та аварійних ситуацій.

Цільову функцію інженера-оператора  $J (u)$ , який здійснює управління  $u (t)$  технологічним процесом задаємо інтегралом:

$$J (u) = \int_0^T F (x, u, t) dt \rightarrow \max. \quad (4.36)$$

Якщо  $\lambda (t)$  – випадкова вектор-функція зовнішніх збурень і завад;  $\zeta (t)$  – випадкова вектор-функція внутрішніх збурень і завад, то *математична модель технологічного процесу* на РВД є стохастичною і її можна подати у вигляді такого диференціального рівняння:

$$\frac{dx}{dt} = f [x, u (t), W_1^i(t), W_2^i(t), \dots, W_k^i(t), \lambda (t), \zeta (t), t], \quad (4.37)$$

де  $f$  – знак позначення функції.

Зазначимо, що обставини функціонування і розвитку КС, тобто роботизованого технологічного процесу, задаються випадковими векторами  $\lambda (t)$  і  $\zeta (t)$  з відомим законом розподілу, а саме нормальним (законом Гаусса).

Отримане диференціальне рівняння (4.36) за формою співпадає з отриманим рівнянням поведінки кібернетичної ДС (4.29). Інваріантність (незмінність) виду диференціальних рівнянь, які описують процеси в різних системах (у даному випадку – виробничих і дидактичних) має глибокі корені.

Дещо відвернемося від суті предмета розгляду і звернемо нашу увагу на разючу подібність диференціальних рівнянь, що описують поведінку різних за своєю природою об'єктів (речей, предметів, явищ, процесів і. т. ін.). Це проявляється не тільки в межах однієї наукової дисципліни, а й між суттєво різнорідними дисциплінами.

У фізиці застосовується аналогія між електродинамікою та гідродинамікою. Приклади: аналог електричного поля є прискорення потоку рідини; закон Ампера про взаємодію провідника зі струмом і зовнішнім магнітним полем, подібний рівнянню Жуковського, який описує взаємодію потоку повітря з твердим тілом; рівняння поступального руху твердого тіла, закріпленого пружиною, в середовищі під дією зовнішньої сили  $F(t)$  і другий закон Кірхгофа для змін електричного заряду  $q$  в послідовному колі під дією змін зовнішньої напруги  $U(t)$  співпадають за формою, а саме описуються лінійними диференціальними рівняннями другого порядку з постійними коефіцієнтами:

$$m \frac{d^2x}{dt^2} + \beta \frac{dx}{dt} + kx + c_1 = F(t) \Leftrightarrow L \frac{d^2q}{dt^2} + R \frac{dq}{dt} + \frac{1}{C} q + c_2 = U(t), \quad (4.38)$$

де  $m$  – маса тіла,  $x$  – координата положення тіла в момент часу  $t$ ,  $\beta$  – коефіцієнт опору,  $k$  – коефіцієнт пружності пружини,  $q$  – електричний заряд,  $L$  – індуктивність кола (котушки індуктивності),  $R$  – активний опір кола (опір резистора),  $C$  – електроємність кола (конденсатора).

Під “інваріантністю фізичних законів” тут треба розуміти наступне: *незмінність аналітичної форми загальних законів природи, які об'єднують просторово-часові виміри, з тим чи іншим видом станів руху в системі координат.*

Разюча подібність спостерігається між законами фундаментальних дисциплін і такою суспільною дисципліною, як економіка. Наприклад, наслідком другого закону термодинаміки є формула ККД теплових машин:  $\eta = (T_1 - T_2) / T_1$ , де  $T_1$  – температура нагрівача,  $T_2$  – температура холодильника. У кінці 30-х рр. американський економіст А. Лернер запропонував індекс  $L$ , який вимірює потенційну монополю владу фірми:  $L = (P - MC) / P$ , де  $P$  – ціна (price),  $MC$  – граничні витрати (marginal cost).

Таким чином, *математика, як цариця наук* (К. Ф. Гаусс) “бачить” однакові математичні структури в різноманітні різноякісних явищ і процесів в природі, техносфері та в суспільстві. Це означає що *наука єдина* та поділ її (диференціація) на велику кількість наукових дисциплін (близько 2 тис.) є досить умовним (історично це було здійснено заради зручності досліджень та з метою глибокого проникнення у сутність явищ природи і буденного життя).

Як підкреслював американський фізик-теоретик Р. Фейнман (1918-1988), “науки поділені не природним шляхом, а лише з міркувань зручності. Природа зовсім не зацікавлена у подібному поділі, і багато цікавих явищ лежать саме на стику різних галузей науки”.

Думку про єдність науки точно й алегорично висловив німецький вчений, основоположник квантової фізики М. Планк (1858-1947): “Наука зображує внутрішнє єдине ціле ... Насправді існує безперервний ланцюг від фізики і хімії через біологію і антропологію до соціальних наук, ланцюг, який ні в одному місці не може бути розірваний, хіба тільки із сваволі”.

“Науки рухаються в напрямі до єдності та простоти”, – стверджував видатний французький вчений А. Пуанкаре.

Ось чому нині йде інтенсивний процес інтеграції наукових дисциплін. Цей глобальний процес став підґрунтям створення модульної системи навчання. ◀

## Контрольні запитання

№ з/п	Контрольні запитання	№ з/п	Контрольні запитання
1.	Що таке організаційна система (ОС)?	77.	Що таке стохастична ситуація ?
2.	Активні елементи в ОС.	78.	Що таке нечітка ситуація ?
3.	Зв'язки і відношення в ОС.	79.	Принцип здійснення ситуаційної мети.
4.	Гомогенність і гетерогенність в ОС.	80.	Що таке ситуаційна мета ?
5.	Суть системоутворюючих зв'язків.	81.	Зв'язок невизначеності ситуаційної мети діяльності та проміжку часу.
6.	Цілісність ОС.	82.	Що таке результат діяльності ?
7.	Склад і структура ОС.	83.	Які вимоги до мети діяльності ?
8.	Функціонування та поведінка ОС.	84.	Що таке SMART-підхід ?
9.	Які класифікаційні ознаки має ОС ?	85.	Яка мета SMART-підходу ?
10.	Відношення еквівалентності в ОС.	86.	Яка відміна проблеми і задачі?
11.	Що таке класи еквівалентності ?	87.	Чому існують тільки три класи проблем ?
12.	Що таке фактор-множина ?	88.	Яка роль ситуаційного підходу в питаннях управління ЕС ?
13.	Граф відношень в множині X.	89.	Сутність функціонування технічної системи рефлексивного типу.
14.	Матриця відношень еквівалентності.	90.	Принцип негативного зворотного зв'язку.
15.	Ергатичні системи (ЕС): суть, структура.	91.	Екстремальні моделі та системи керування.
16.	Ергатичні системи (ЕС): властивості.	92.	Аналіз типів екстремальних САК.
17.	Ергатичні системи (ЕС): особливості.	93.	Основні принципи ускладненої поведінки САК.
18.	Розвиток ЕС. Ергатичний організм.	94.	Стан сучасної силової електроніки.
19.	Сценарій: суть, зміст.	95.	Основні тенденції розвитку сучасної силової електроніки.
20.	Що таке простір станів системи ?	96.	Що таке фазі-логіка ?
21.	Динамічність системи.	97.	Що таке модель нейронні мережі ?
22.	Структурна надмірність.	98.	Сучасний автоматизований електропривод (АЕП): будова
23.	Міра організації системи.	99.	Аналіз АЕП на основі фазі-логіки.

24.	Означення організаційних систем.	100.	Які досягнення має сучасна теорія управління організаційними системами (УОС)?
25.	Цілеспрямовані системи.	101.	Які методи штучного інтелекту застосовуються в теорії УОС ?
26.	Що таке цілепокладання ?	102.	Методологічна основа сучасної ТУОС.
27.	Поняття мети діяльності.	103.	Організаційно-технічні процеси (ОТП) та їх властивості.
28.	Метод ієрархічної декомпозиції.	104.	Поєднання ОТП з ОПР: суть, переваги.
29.	Що таке дерево сутностей ?	105.	Експертні системи і оцінка якості продукції.
30.	Що таке ієрархія цілей ?	106.	Що таке алгоритм ?
31.	Що таке дерево цілей ?	107.	Сучасна класифікація алгоритмів.
32.	Поняття ситуації.	108.	Властивості алгоритмів.
33.	Детерміновані та стохастичні ситуації.	109.	Сутність алгоритмів: імовірнісних.
34.	Принцип здійснення ситуаційної мети.	110.	Сутність алгоритмів: евристичних.
35.	Вимоги до мети діяльності.	111.	Сутність алгоритмів: нечітких.
36.	Поняття про SMART-підхід.	112.	Генетичний алгоритм.
37.	Що таке проблема ?	113.	Контролери нечіткої логіки.
38.	Три класи проблем.	114.	Інтелектуальне управління ОТП: суть.
39.	У чому сутність методу аналізу ієрархій Т.Сааті ?	115.	Інтелектуальне управління ОТП: основні принципи.
40.	Що таке кількісна шкала переваги альтернатив ?	116.	Інтелектуальне управління ОТП: застосування на практиці.
41.	Основні задачі системного аналізу.	117.	Що таке інтелектуалізація ?
42.	Управління в організаційних системах.	118.	Що таке інтелектуальність?
43.	Менеджмент і управління.	119.	Ступінь інтелектуальності.
44.	Суб'єкт і об'єкт управління.	120.	Інтелектуальні системи керування (ІСК).
45.	Основні функції управління.	121.	Основні принципи інтелектуального управління організаційно-технічними процесами.
46.	Що таке стратегія ?	122.	Уявлення про нейронні мережі.
47.	Стадії процесу управління.	123.	Застосування нейронні мережі для процесів керування.



48.	Прийняття управлінського рішення та його реалізація.	124.	Розвиток цивілізації та навчання.
49.	Контроль та його види.	125.	Каузальне навчання.
50.	Наукові підходи дослідження основних функцій управління.	126.	Доцільне навчання.
51.	Управління і системний підхід.	127.	Цілеспрямоване навчання.
52.	Процесний підхід: суть, етапи впровадження.	128.	Що таке процес навчання ?
53.	Ситуаційний підхід.	129.	Що таке процес учіння ?
54.	Що таке ситуація ?	130.	Що таке педагогічна система ?
55.	Управлінська ситуація.	131.	Яку структуру має педагогічна система ?
56.	Ситуаційна теорія управління.	132.	Що таке дидактична система (ДС) ?
57.	Які має переваги ситуаційний підхід в управлінні ?	133.	Які складові та характерні ознаки має ДС ?
58.	Поточна та повна ситуація.	134.	Індивідуалізоване навчання та управління.
59.	Логіко-трансформаційне правило Д.О. Поспелова.	135.	Роль у навчанні НЗЗ.
60.	Метод ситуаційного управління.	136.	Роль у навчанні ПЗЗ.
61.	Системний підхід в управлінні.	137.	Інтелектуальні навчальні системи.
62.	Ситуаційний підхід в управлінні.	138.	Експертні навчальні системи.
63.	Поведінковий підхід в управлінні.	139.	Сутність технології навчання.
64.	Кількісні підходи та методи в управлінні.	140.	Види технологій навчання.
65.	Типи управління.	141.	Аспекти процесу навчання.
66.	Суть системного аналізу.	142.	Навчання як керований процес.
67.	Управління в ергатичних системах (ЕС).	143.	Кібернетична математична модель ДС.
68.	Поняття про систему цінностей.	144.	Навчання як процес імовірнісний.
69.	Сутнісні носії цінностей.	145.	Навчання як процес адаптації.
70.	Ціннісні модальності.	146.	Що таке алгоритм лінійної тактики ?
71.	Цінності, як компонент концептуальної моделі діяльності фахівця.	147.	Що таке алгоритм лінійної тактики з навчанням ?
72.	Життєві цінності Бенджаміна Франкліна.	148.	Що таке стратегія альтернативної адаптації ?
73.	Піраміда Франкліна.	149.	ММ технологічного процесу роботизованого цеху.

74.	Загальне та відмінне в цінностях та цілях.	150.	Гнучке автоматизоване виробництво.
75.	Ситуація: означення.	151.	Інваріантність законів природи, техніки та соціуму.
76.	Що таке детермінована ситуація ?	152.	Інтеграція наукових дисциплін і єдність науки



---

## Розділ 5. РОЗВИТОК ОРГАНІЗАЦІЙНИХ І ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

---



“Якщо Ви не розвиваєтеся, то Ви перебуваєте в стані застою. Якщо Ви не стаєте краще, то Ви стаєте гірше. Постійно вчіться і зробіть розвиток обов'язковою програмою кожного дня”

Брайан Трейсі

---

### 5.1. Теоретичні засади синергетики

---

Поняття “синергетики” та її виникнення. Самоорганізовані (синергетичні) системи (SS). Умови самоорганізації SS. Принципи синергетики: а) принципи буття; б) принципи становлення. Фундаментальні властивості самоорганізованих (синергетичних) систем.

Німецький фізик-теоретик Г. Хакен (нар. в 1927 р.) у книзі “Синергетика” (вид. 1977 р.) назвав теорію самоорганізації терміном “синергетика”.



**Хакен Герман** – видатний німецький фізик-теоретик, засновник нового наукового напрямку – синергетики. Вивчав фізику і математику в університетах Галле і Ерлангена, отримавши ступень доктора філософії і доктора природничих наук.

Етимологія слова “синергетика” пов'язана з тим, що “синергія” – слово, яке відоме з IV ст. до н. е., походить від старогрец. *συν* – приставка зі значенням *спільна* і *ἔργον* – “діяльність”). Це означає, що “синергія” – **спільна діяльність**.

Синергетика успадковує результати досліджень у галузі фізики (теорія коливань, статистична фізика, фізика фазових переходів), хімії, біології, соціології, кібернетики, системного аналізу.

**ДВ→** Початок еволюційно-синергетичного мислення в науці заклав великий французький математик, фізик-теоретик і філософ Анрі Пуанкаре (1854-1912), який заклав основи методів нелінійної динаміки, якісної теорії диференціальних рівнянь, увів поняття *аттракторів*, *точок біфуркації*, *нестійких траєкторій* і *динамічного хаосу*. Знаменитий австрійський фізик, засновник статистичної механіки та молекулярно-кінетичної теорії Людвіг Больцман (1844-1906) дослідив незворотні процеси і надав статистичну трактовку другому закону термодинаміки. Теорія самоорганізації сформувалася завдяки діяльності Брюсельської школи Іллі Пригожина, інституту синергетики і теоретичної фізики в Штутгарті (професор Г. Хакен), школа академіка А.А. Самарського і С.П. Курдюмова (Росія), а також працям багатьох вчених: М.М. Моїсеєв, С.П. Капіца, М.В. Волькенштейн та ін. Французький математик Рене Том (1923-2002) і російський математик В.І. Арнольд (1937-2010) розробили теорію катастроф. ◀

Як ми вже зазначали, що процес створення упорядкованих просторово-часових структур (дисипативних структур, автоструктур) називається самоорганізацією, а ті системи, в яких це можливо – **самоорганізовані (синергетичні) системи (SS)**. Вказані системи є відкритими, нестійкими, істотно нерівноважними та нелінійними.

Відхилення таких систем від рівноважного стану зумовлені **флуктуаціями** (від лат. *fluctuatio* – коливання) – *будь-яке випадкове відхилення випадкової величини від середнього значення*. Флуктуація характерна для систем, які складаються з великого числа хаотично взаємодіючих частинок. Такі відхилення викликаються тепловим рухом частинок або квантово-механічними ефектами. Прикладом може бути флуктуація густини речовини в околицях критичних точок, наприклад, при кипінні рідини.

Очевидно, що самоорганізація можлива у **складних системах (СС)**, які мають певні властивості. Ряд СС здатні до ускладнення своєї структури, що є однією необхідною умовою до самоорганізації.

Розглянемо інші властивості СС, які притаманні самоорганізуючим системам (**умови самоорганізації СС**):

- СС складається з однорідних чи різнорідних елементів, які взаємодіють між собою;
- можлива функціональна різноманітність елементів;
- між елементами існують різноманітні зв'язки;
- елементи можуть переходити в стан активності;
- система є відкрита (обмін енергією, інформацією та речовиною з довкіллям) й активно взаємодіє зі зовнішнім середовищем;
- система може мати ієрархічну структуру;
- наявність нерівноважних станів системи, при яких елементи піддаються внутрішнім і зовнішнім коливанням (нерівноважність є джерелом перетворення системи в напрямі упорядкованості);
- можливість переходу системи в нестабільні, нерівноважні макроскопічні стани;
- значне число станів системи;
- можливість флуктуацій (густини речовини, механічних, термодинамічних, електричних, оптичних і т. п. характеристик, сигналів тощо);
- можливість кооперативної (узгодженої) поведінки елементів;
- здатність системи до якісних змін (зокрема, до адаптації та розвитку);
- можливість якісних змін у системі, зокрема виникнення просторово-часових структур, виявлення емерджентних (нових) якостей системи;
- просторово-часові (дисипативні) структури можуть бути упорядковані або хаотичні;
- можливість накопичення досвіду (залежність розвитку від передісторії);
- здатність до навчання та самонавчання тощо.

У найпростішому варіанті можна виділити основні **принципи синергетики**: два “принципи буття”, а інші – “принципи становлення” [6; 36; 170; 201].

**Принципи буття** характеризують порядок, стабільність функціонування відкритих динамічних систем.

**1. Гомеостатичність (гомеостазис)** – здатність відкритої системи зберігати постійність свого внутрішнього стану за допомогою скоординованих реакцій, спрямованих на підтримку динамічної рівноваги. Гомеостатичні системи мають такі властивості:

- прагнення до рівноваги, до балансу;

- нестабільність, адаптація до змін довкілля;
- непередбачуваність, тобто результуючий ефект від певних дій найчастіше може відрізнятись від того, який очікувався;
- система реагує на зовнішні діяння задіянням негативного (стабілізація параметрів, протидія зовнішнім впливам) та позитивного зворотного зв'язку (активізація внутрішнього стану системи). Задіяння системою НЗЗ спричиняє до гомеостатичного стану, який описується *аттрактором* (притягувачем), а “включення” ПЗЗ – спричиняє стрибкоподібний перехід до нового стану гомеостазу (така ситуація називається *метастабільністю*).

**2. Ієрархічність.** Синергетичні системи (synergetic systems, SS) мають структури, кожна з яких поділена на ряд структурних рівнів, які знаходяться у субординації один з одним. Наприклад, рівень кристалу включає молекулярний рівень, молекулярний – атомний, у свою чергу атомний – ядерний. Теорію ієрархій запропонували М. Месарович, Д. Мако, И. Такахага [133].

**Принципи становлення** – принципи, які породжують нелінійність, незамкнутість, нестійкість, динамічну ієрархічність, спостережливість.

**1. Нелінійність** – порушення принципу суперпозиції в деякому явищі, процесі. Як наслідок, результат суми діянь (впливів) на систему не дорівнює сумі результатів цих складових діянь (впливів). У нелінійному світі не можна складати (додавати) причини: *результат суми причин не дорівнює сумі результатів причин*. Це відрізняє нелінійні системи від лінійних. На відміну від нелінійного, у лінійному світі немає розвитку (прогресивного, регресивного), немає життя.

Наочним прикладом нелінійності є висока когерентність лазерних променів. Фази різних світлових хвиль, що виходять крізь дзеркала лазерного резонатора, або однакові, або взаємно узгоджені. Тут порушується принцип суперпозиції хвиль: у нелінійних середовищах світлові хвилі взаємодіють між собою, обмінюються енергією. У результаті одні хвилі можуть послаблюватися, а інші посилюватися. Така картина відповідає нелінійній оптиці.

**2. Незамкнутість** (відкритість) – реальні системи природи, техніки та суспільства є відкриті, тобто обмінюються з довкіллям речовиною, енергією й інформацією. На відміну від замкнутих фізичних систем (моделей), для яких справедливий 2-й закон термодинаміки, за якого ентропія може тільки зростати (для замкнутого Всесвіту це означає теплова смерть), в реальних системах ентропія може обмежено зростати, а в деяких випадках навіть зменшуватися. Такі системи є *стійкі нерівноважні структури*, які підтримують себе за рахунок зовнішніх потоків речовини, енергії та інформації. Яскравим прикладом може бути життєдіяльність організмів (біологічних систем).

**3. Нестійкість.** Стан системи, траєкторія або програма нестійкі, якщо будь-які як завгодно малі відхилення від них згодом збільшуються. Якщо стійкість системи є результатом самоорганізації, взаємного підсилення дій різних компонентів системи, то втрата цієї стійкості є також синергетичний ефект, пов'язаний зі збільшенням амплітуди флуктуацій в системі поблизу *точки біфуркації* (критичної точки) з подальшими катастрофічними або перебудованими (в сенсі структури) змінами. У теорії катастроф показано, що другою ознакою передкризової ситуації (після активізації флуктуацій) є уповільнення ритмів системи (“затишшя перед бурею”). Це означає накопичення потенційної енергії, яка при

наближенні до точки біфуркації (зони кризи) стрибкоподібно перейде в кінетичну енергію, в результаті чого система або перейде в іншу якість або зруйнується. При цьому складність системи після виходу з кризи може як зменшитися (*деградація*), так і збільшитися (*прогресивна еволюція*).

**ДВ**→ Прогресивна еволюція пов'язана зі **синтезом**, тобто вищим щаблем у зміні структури систем. На протигагу аналітичності природничо-наукових досліджень, Г. Гегель розглядав природу як цілісність, формування об'єктів якої відповідає категоріям “механізму”, “хімізму”, “організму”. Відкритий ним закон заперечення стверджує, що *синтез* є найвища ступінь руху “абсолютної ідеї” або розвитку об'єкта за універсальною схемою типу “тезис – антитезис – синтез” [151].

Висловлюючись сучасною термінологією, **синтез** – *найвища форма або ступінь інтеграції*, як процесу. При формуванні цілісності шляхом взаємодії первинних елементів, що супроводжується зародженням, встановленням, ускладненням, розвитком і зміцненням зв'язків та відношень між цими елементами, зінтегрований об'єкт переходить із одного стану в інший, яким відповідають певні **ступені (форми) інтеграції**: *сукупність, комплексність, впорядкованість, організація і система*.

У свою чергу, на погляд автора, **система** за складом і структурою має два рівні:

1. **Рівень інтегральності**, тобто єдності різноманітного, а саме з'єднання різних за складом елементів в єдину цілісність. При інтеграції елементів у системі зберігаються індивідуальні властивості елементів, їх багатогранність.
2. **Рівень синтезу**, який передбачає “злиття” взаємодіючих елементів в однорідну цілісність, що характеризується об'єднанням елементів, втратою їх індивідуальних властивостей. Практичним підтвердженням наявності синтезу в природі є процеси самоорганізації в нерівноважних матеріальних системах. Ці процеси й явища характерні тим, що складові елементи розвиваючих систем трансформуються в якісно нові елементи, при одночасному збідненні їх індивідуальності та посиленні зв'язків між ними (хімічні та ядерні реакції синтезу); або первинна структура системи руйнується до рівня злиття різнорідних елементів у однорідну цілісність з максимально можливими енергетичними зв'язками, що характерно для сингулярного стану матерії (“чорні дірки” Всесвіту). Останнє твердження відповідає **закону підвищення цілісності** [108].

Належить ще відзначити такі філософські умовиводи: якщо інтеграція та диференціація – дві протилежні, суперечливі та взаємопов'язані тенденції науки, техніки і виробництва, то синтез нерозривно пов'язаний із аналізом [153; 199]. ◀

У відповідності з теорією С.П. Курдюмова, у відкритій нелінійній системі (середовищі) одночасно співіснують два процеси: процес розмивання структур (HS-режим) і процес локалізації структур (LS-режим).

У основі механізму HS-режиму лежить нелінійний ПЗЗ, що спричиняє до швидкого поповнення системи енергією, зростання в ній коливних процесів, відходу системи від динамічної (нестійкої) рівноваги, надшвидкого зростання інтенсивності процесів, суттєвого збільшення нестійкості, з виходом *в режим з загостренням (режим перенавантаження системи)*. Частинним випадком такого режиму є так званий **S-режим** (режим горіння), який локалізується в обмеженій зоні та набуває стійкість у вигляді просторової “теплової хвилі”. HS-режим може призвести до аварії чи катастрофи системи (в залежності від масштабу) або до суттєвої перебудови системи за складом і структурою.

На відміну від HS-режиму, який розмиває неоднорідності в нелінійному відкритому середовищі, в основі механізму LS-режиму лежить дія ПЗЗ, що спричиняє до локалізації структур, формування порядку, прямування системи до динамічної рівноваги.

Зазначимо, що у вказаних вище системах одночасно діють як негативний (стабілізуючий) зворотний зв'язок, так і позитивний (послаблення зв'язків у системі та її активізація). LS і HS режими відображають наслідок переважання одного зв'язку над іншим (негативного над позитивним і навпаки).

**4. Динамічна ієрархічність (емерджентність).** Як вже відомо читачам, однією з ознак ієрархічних систем є підпорядкування властивостей елементів нижніх рівнів властивостям елементів верхніх рівнів (“ієрархічні сходи”). Динамічна ієрархічність узагальнює принцип “ієрархічних сходів” на процеси становлення – народження параметрів порядку, коли доводиться розглядати системи, які мають більше двох ієрархічних рівнів. Цей принцип описує виникнення нової якості системи по горизонталі, тобто на одному рівні, коли повільна зміна керуючих параметрів вищого рівня призводить до нестійкості системи на нижчому макрорівні і перебудові його структури.

**5. Спостережуваність.** Цей принцип відноситься до засобів спостереження. А саме, результат спостереження визначається його масштабом і початкового очікуваного результату. Якщо з позицій макрорівня експериментатор спостерігає хаос, то при переході до масштабу мікрорівня виявляється структура (*динамічний порядок*). Іншими словами, самі поняття порядку і хаосу, Буття і Становлення відносні за масштабом – “вікно спостереження”.

**Окрім гомеостатичності та ієрархічності, а також принципів становлення, виділяють ще декілька принципів, розглянутих нижче.**

**1. Принцип підпорядкування.** Перехід системи до еволюції на новому сценарному аттрактора означає, що ступінь її свободи стає мінімальною і основну роль в її самостійному русі починають відігравати саме ті параметри (*параметри порядку*), які визначають ці залишкові ступені свободи. Той факт, що параметрів порядку (регульованих параметрів) залишається відносно мало (всі інші ступені свободи виявляються подавленими), значно полегшує побудову математичних моделей еволюції саморозвиваючих систем. Отже, подавлення в стійкому режимі аттракції всіх другорядних мод називається принципом підпорядкування. Зазначимо, що мода (у фізиці) – вид коливань, що збуджуються в складних коливальних системах. Мода характеризується просторовою конфігурацією коливної системи, яка визначається положенням її вузлових точок (ліній або поверхонь), а також власною частотою.

**2. Принцип фундаментальної ролі випадковостей.** На відміну від звичайних систем і їх станів, де випадковості не відіграють істотної ролі, у випадку синергетичних систем становище змінюється радикально. А саме в зоні біфуркації система втрачає стійкість, принцип підпорядкування перестає діяти, а тому малі флуктуації внаслідок позитивних зворотних зв'язків можуть набувати великих амплітуд та призводити до катастрофічного стану.

Із вказаних принципів впливають такі фундаментальні властивості самоорганізованих (синергетичних) систем (SS):

- ❖ Незворотність еволюційних процесів (“стріла часу”). Незворотність процесів у термодинамічній системі пов'язана з імовірністю (Л. Больцман). У нерівноважних системах дозволені стани системи відокремлені від заборонених другим законом термодинаміки та характером нелінійних процесів (“ентропійний бар'єр”). Термін “стріла часу” ввів у науковий обіг у 1927 р. британський астроном Артур Еддінгтон (Arthur Eddington). Було помічено, що багато фізичних процесів на мікроскопічному рівні відбуваються симетрично

в часі. Це означає, що теоретичні рівняння, які описують рухи атомів, залишаються незмінними, якщо напрям часу в них змінити на протилежний. Однак, коли ми розглядаємо речі на макроскопічному рівні, ситуація змінюється. Нам починає здаватися, що є очевидний напрям ходу подій. Стріла часу є тим, що вводить елемент асиметрії в навколишній світ. Як відмічає Б.Ю. Жилияєв, можна виділити ряд аспектів спрямованості часу: 1) згідно з другим законом термодинаміки, ентропія (міра хаосу) зростає з минулого в майбутнє, 2) Всесвіт розширюється в часі, 3) причинні зв'язки працюють тільки в одному напрямі, майбутні події не можуть впливати на минулі (!?), 4) ми пам'ятаємо минуле, але не можемо пам'ятати майбутнє і 5) ми можемо змінити майбутнє в тому сенсі, в якому не можемо змінити минуле [див.: Жилияєв Б.Ю. Стріла часу / Б.Ю. Жилияєв // Вісн. НАН України. – 2012. – № 4. – С. 23-29].

Примітка автора (МК). Пункт 3 дискусійний, пояснення йде далі.

- ❖ **Біфуркаційний характер еволюції**. Цей принцип стверджує, що класичний детермінізм Лапласа в зоні біфуркації не діє: після точки біфуркації знаходиться віртуальний простір (поле) еволюційних альтернатив. Система розвивається за однією із альтернатив, яка визначається діючими каузальними (причинними) зв'язками та наявними нелінійними факторами.
- ❖ **Динамізм структури систем, що розвиваються**. З точки зору синергетики, структура системи є динамічною, тому потребує регулярного коригування та перебудови за умови наявності структурних криз. Якщо ж структура системи має системну кризу, то можливості структурної модернізації системи вичерпані, вона історично приречена на загибель. Вказане відноситься як до фізичних систем, так і до соціумів на рівні великих за територією держав.
- ❖ **Режими з загостренням, або надшвидкорозвиваючі кризи**. Механізм, який лежить в основі кризи цього типу є нелінійний ПЗЗ, який за малі проміжки часу може спричинити до утворення нестационарних дисипативних структур, які за обсягом незбалансовані (потоки субстанції всередину системи не дорівнюють потокам з системи). Прикладом може бути фінансоміка: гра на вартості акцій на біржах, розташованих в різних частинах земної кулі, або на коливаннях цін на нафту тощо. Суть цього режиму в тому, що можна отримувати прибуток, граючи за формулою гроші – гроші. Другим прикладом є статистично обґрунтований талановитим фізиком, академіком П.Л. Капіцею (1894-1984) гіперболічний закон зростання чисельності населення в режимі з загостренням:

$$N(t) = 108 / (1 - t / t_{кр}), \quad (5.1)$$

де  $t_{кр} = 2030$  – критичний рік.

Із цієї формули випливає, що в рік народження Ісуса Христа на Землі було біля 100 млн. осіб, а в 2017 р. – трохи більше 7,6 мільярда осіб. Більшість вчених впевнені в тому, що в 2100 році кількість людей зростає до 11 мільярдів осіб.

- ❖ **Закони темпоритму процесів самоорганізації**. Якщо в елементах (підсистемах) певної самоорганізуючої системи відбуваються процеси узгоджені, синхронізовані в сенсі темпів змін (темпоритмів), то хаос на мікрорівні може спричинити порядок (організованість) на макрорівні. У цьому проявляється конструктивна роль хаосу.
- ❖ **Нове розуміння майбутнього**. Класична епістемологія (теорія пізнання) стверджує, що майбутнє визначається минулим. Теорія самоорганізації істотно доповнює класичні погляди на плин часу та можливість його передбачення. Як стверджують Л.Г. Гагаріна і А.О. Петров, “майбутнє це зовсім не те, що обов'язково настане завтра. Майбутнє – це набір альтернативних варіантів. Знання цих варіантів відриває практичну можливість управляючих впливів на вектор історичного процесу. Оскільки спектр альтернативних “цілей” еволюції – віртуальних аттракторів – зрозумілий тому, хто володіє таким знанням, можна говорити, що майбутнє здатне впливати на хід історії” [36, с. 238-239]. Дійсно, до зони біфуркації примикає віртуальний простір альтернативних гілок еволюції, майбутнє як би наперед задано, тобто знаходиться в потенційному стані. Іншими словами, паттерни



(шаблони) майбутнього існують до початку ходу історичного процесу. Спектр альтернативних аттракторів еволюції визначається внутрішніми властивостями і досліджуваної системи. “Шляхи виходу до цих аттракторів дискретні, спектр переходу до них не є суцільним, тому існують лише вузькі "коридори" руху до оптимальних гілок еволюції. Світло з майбутнього, що падає на сьогоднішній день крізь тунель цього коридору, допомагає вибрати оптимальну стратегію дій, змінює наше сприйняття реальності” [36, с. 239]. За яким патерном (із множини альтернативних) піде реальний історичний процес визначається характером дисипативних процесів.

---

## 5.2. Моделі розвитку синергетичних систем

---

Когерентності та кооперативна поведінка в SS. Нерівноважність як джерело порядку. Приклади самоорганізації. Фрактали. Співвідношення Больцмана. Критерій еволюції Гленсдорфа-Пригожина. Поняття аттрактора. Роль негативного і позитивного зворотного зв'язків у процесах самоорганізації. Дивергенція і конвергенція. Моделі розвитку синергетичних систем. Дивергентний і конвергентний етапи розвитку SS. Детермінізм Лапласа. Сутність ергодичної теорії. Відміна SS від механічних динамічних ансамблів. NBIC-конвергенція.

---

Аналіз ряду робіт [3; 6; 13; 30; 36; 57; 73; 124; 133; 139; 154; 170; 183; 188; 198; 201; 205; 209; 230] та власні дослідження автора [108; 112; 118; 119] дозволяють описати та пояснити (в межах сучасних наукових уявлень та концепцій) природу самоорганізації в природі, техніці та суспільстві.

У сильно нерівноважних умовах у відкритій системі завдяки зовнішнім керованим діям або внутрішнім процесам виникають далеко діючі *кореляції* (стохастичні взаємозалежності) та *когерентності* (узгодженість поведінки між елементами), а також *кооперативна* (спільна) поведінка елементів (підсистем), завдяки чому із хаосу (невпорядкованості) формується *дисипативна (просторово-часова структура)*, яка підтримується внаслідок поглинання *негентропії* (потоків речовини, енергії, інформації). При цьому система віддає зовнішньому середовищу ентропії більше, аніж поступає назад в систему за той же проміжок часу. Таким чином, *нерівноважність слугує джерелом порядку*.

З другого боку, нерівноважність є джерелом постійних змін системи, це те, що породжує *“порядок із хаосу”* (І. Пригожин). При цьому джерелом нововведень у системі, тобто джерелом структурної еволюції, є *флуктуації*, які “запускають” механізми нестійкості в системі, що спричиняють до формування нової просторово-часової структури. Певні режими флуктуації на мікрорівні зумовлюють макроскопічний ефект, враховуючи резонансні явища та ефекти.

**ДВ→** Прикладами самоорганізації в фізиці можуть бути: всі фазові переходи у фізичних системах (перехід рідина – газ, феромагнітний перехід, виникнення надпровідності тощо). У нерівноважному стані можна назвати приклади високої організації в гідродинаміці, в лазерах різних типів, у фізиці твердого тіла – осцилятор Ганна, тунельні діоди, зростання кристалів тощо.

Яскравими прикладами є формування просторово-часових структур в рідині (комірки Бенара при нагріванні шару рідини) і в лазері (когерентне випромінювання за умови енергетичного “накачування” речовини, атоми якої починають поводитися строго корельованим чином, тобто переходять в стан самоорганізації).

Найбільш відомим прикладом у хімії може слугувати автокаталітична хімічна реакція Белоусова – Жаботинського (хімічний годинник), хімічні коливання (реакція Бріггса-Раушера), а в біології – формування тканин і органів, утворення колонії колективних амеб, побудова гнізда термітами, періодичні процеси “хижак-жертва” (Лоткі-Вольтерра), зародження ракової пухлини і т. д.

Механізмом формування таких станів і процесів є нелінійний ПЗЗ. Зокрема, автокаталітична хімічна реакція – це реакція, що прискорюється під дією одного із її продуктів, який відіграє роль каталізатора.

Ми не можемо не згадати такі творіння самоорганізації в природі, як узбережжя, хмари, крони дерев, сніжинки, кровоносна система та система альвеол людини або тварин і т. ін. У 1975 р. французький і американський математик, творець фрактальної геометрії Бенуа Мандельброт увів у науковий обіг термін “**фрактал**” (від лат. *fractus* – подрібнений), який означає геометричну фігуру, що має властивість самоподібності, тобто складену з декількох частин, кожна з яких подібна до всієї фігури цілком. У математичному сенсі під фракталами розуміють безліч точок в евклідовому просторі, які мають дробову метричну розмірність (в сенсі Мінковського або Хаусдорфа). Фрактали широко застосовуються в комп’ютерній графіці для побудови зображень природних об’єктів, таких як кущі, дерева, гірські ландшафти, поверхні морів і т. д. Напрошується адекватний афоризм: “**Математика, якщо на неї правильно подивитися, відображає не тільки істину, але і незрівнянну красу**” (Бертранд Рассел). ◀

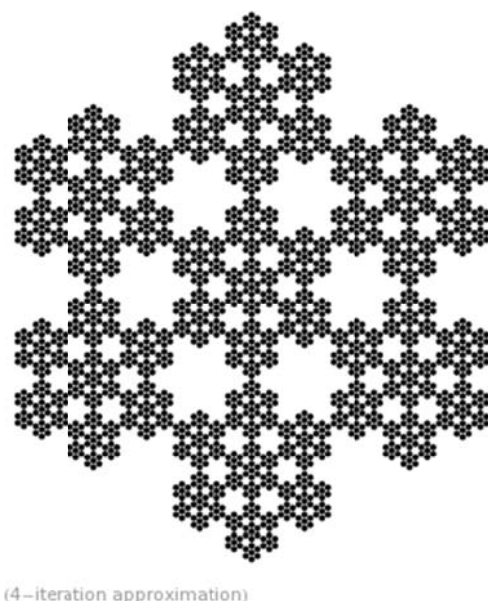


Рис. 5.1. Природна сніжинка (зліва) і геометричний фрактал (справа)

Вченими було доведено, що часові зміни у відкритій нерівноважній системі мають стохастично-детермінований характер. Відповідно до співвідношення Больцмана, незворотні зміни в системі є зміни в сторону більш імовірних станів: зростання термодинамічної ентропії  $H_T$  пов’язано зі збільшенням термодинамічної ймовірності  $p_m$  станів:

$$H_T = k \ln p_m, \quad (5.2)$$

де  $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$  Дж / К – постійна Больцмана;  $p_m$  – термодинамічна ймовірність, тобто ймовірність стану системи, яка визначається числом мікростанів, а саме розподілом молекул у просторі за швидкостями та енергіями (розподіл Максвелла-Больцмана). За допомогою мікростанів реалізується даний макростан системи.

**ДВ→** Видатний австрійський фізик-теоретик, засновник статистичної механіки і молекулярно-кінетичної теорії Людвіг Больцман (1844-1906) показав (1896 р.), що ентропія прямо пропорційна логарифму ймовірності. Згодом, інший славетний німецький фізик-теоретик, основоположник квантової фізики Макс Планк (1858-1947) формально

виразив вказане міркування Больцмана рівнянням (5.2) та статистично обґрунтував другий закон термодинаміки. ◀

Ми не ставимо завдання розкрити сутність математичної теорії самоорганізації, яка відносно складна в математичному відношенні, а звернути увагу читачів на деякі важливі, ключові якісні моменти (для підготовленого читача зі спеціальних розділів вищої математики рекомендуємо джерела [6; 13; 30; 36; 124; 201]).

П→ Внутрішні нерівноважні процеси завжди діють у напрямі, що зменшує виробництво ентропії внаслідок поглинання енергії і (або) речовини із зовнішнього середовища. Прогресивна еволюція системи завжди йде у напрямі мінімальної *дисипації* (від лат *dissipatio* – розсіювання) енергії, тобто до стану з найменшим виробництвом ентропії. У свою чергу, зменшення ентропії системи служить критерієм самоорганізації. Зокрема, наведемо *критерій еволюції Гленсдорфа-Пригожина*:

$$\frac{\partial_x H_T}{\partial t} = \int_V \sum_i \Pi_i \frac{\partial X_i}{\partial t} dV \leq 0, \quad (5.3)$$

де  $\Pi_i, X_i$  – відповідно потоки і термодинамічні сили, а знак рівності відноситься до стаціонарного стану.

Якщо для рівноважних систем зростання ентропії  $H_T$  означає зростання не порядку, розсіювання енергії, змін у напрямі більш імовірних станів, наближення до хаосу [див. (5.2)], то для *сильно нерівноважних систем*, обумовлених потоками (із зовнішнього середовища) речовини, енергії та інформації, зростання ентропії  $H_T$  означає стійкі макроскопічні стани дивного аттрактора, які відповідають позитивній ентропії  $H_T$ , яка має кінцеве значення.

**Аттрактор** (англ. *attract* – залучати, притягати) – компактна підмножина фазового простору динамічної системи, всі траєкторії з деякої околиці якого прямують до нього при зміні часу, що прямує до нескінченності (подробіці та глибокий аналіз теорії аттракторів викладені в роботі Л.Г. Гагаріної [36]). Іншими словами, поняття “аттрактор” означає деяку сукупність умов, за яких вибір шляхів еволюції різних систем відбувається за напрямками, що сходяться траєкторіями і в кінцевому результаті як би притягаються до однієї точки. Наочно це можна уявити у вигляді конуса побутової лійки, що направляє рух частинок рідини або сипучих тіл (наприклад, піску) до свого центру (вершині конусу – горловині лійки) незалежно від початкових траєкторій.

Простір усередині конуса аттрактора, де будь-яка частинка, що потрапила туди, поступово зміщується в заданому напрямку, називають “зоною аттрактора” (рис. 5.2).

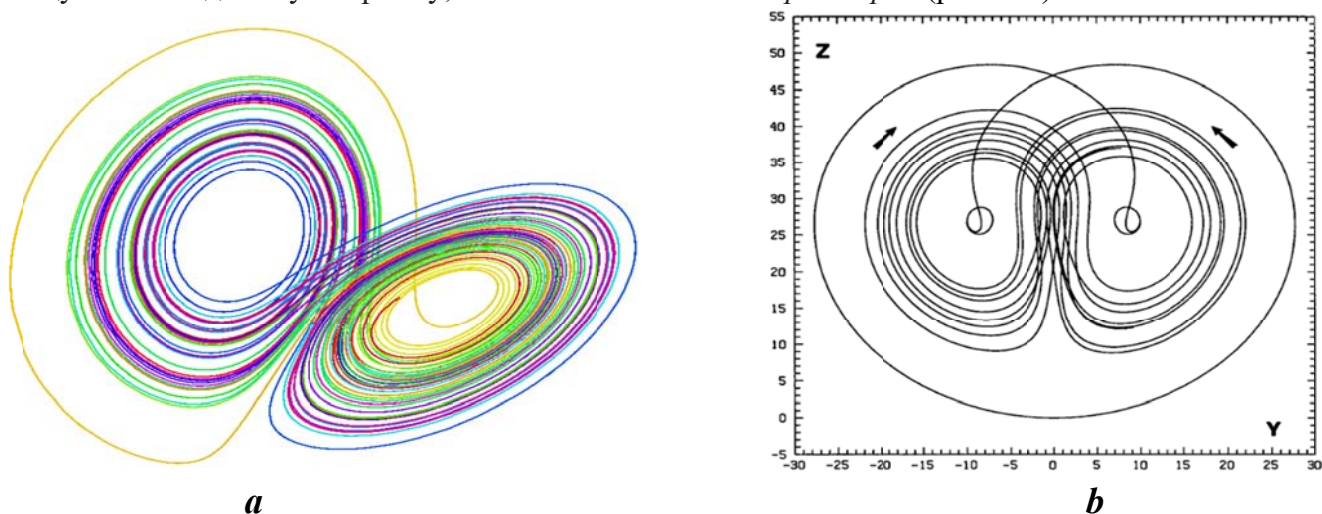


Рис. 5.2. Просторовий аттрактор (а) та його проекція (b) на площину ZOY

Розрізняють декілька різновидів аттракторів, серед яких слід виділити так званий “*дивний аттрактор*”. При станах системи, які характеризуються дивним аттрактором, стає неможливим визначити положення частинок (їх поведінку) в кожен даний момент часу, хоча ми і впевнені, що вони знаходяться в зоні аттрактора.

Фазовий портрет дивного аттрактора – це не точка і не граничний цикл, як це мало місце для стійких, рівноважних систем, а деяка область, по якій відбуваються випадкові “блукання”. За допомогою алгоритмів дивного аттрактора наука виходить на опис змін в кліматі, погодних процесів, руху деяких небесних тіл, поведінки багатьох елементарних частинок, явищ теплової конвекції і т. д.

Як було сказано в попередньому підрозділі, механізм самоорганізації великою мірою залежить від змін негативного і позитивного зворотних синергетичних зв'язків.

Виникнення та посилення емерджентних властивостей системи є результатом зміцнення *зворотних синергетичних зв'язків (ЗСЗ)* між елементами системи, які, в свою чергу, обумовлені кооперативною дією елементів системи. ЗСЗ поділяються на негативні та позитивні, діють одночасно, причому перші формують тенденцію до стабільності системи, зберігають гомеостаз, регулюють швидкість виникнення ентропії, проводять відбір необхідних флуктуацій, а другі – інтенсифікують протікання нерівноважних процесів, підсилюють певні функції системи, ведуть до прогресу певних властивостей системи.

Такий ЗСЗ, як негативний зворотний зв'язок (НЗЗ), відомий читачам на прикладі дії регулятора Уатта, електронного підсилювача. У більш широкому плані роль НЗЗ полягає в стабілізації параметрів функціонування систем, компенсації збурень, гасіння шумів, забезпечення стійкості деяких вибраних станів або рухів системи тощо. У системах з високим ступенем організації, наявність НЗЗ забезпечує стійкість функціонування, збереження гомеостазу та інших емерджентних властивостей системи.

Такий ЗСЗ, як позитивний зворотний зв'язок (ПЗЗ), відомий читачам на прикладі дії гетеродину (генератора високої частоти). У більш широкому плані роль ПЗЗ полягає у посиленні інтенсивності процесів у системі, збільшення ефективності її функціонування, розвитку біфуркаційних змін, сприяє раціональному використанню зовнішніх речовинно-енергетичних потоків, розширює область гомеостазу, підвищує рівень різноманітності та складності системи тощо.

Наявність ПЗЗ в самоорганізуючих системах приводить до *кумулятивного ефекту* (від лат. *simulatio* – нагромадження), за якого система досягає такого порогового нерівноважного стану (порогу самоорганізації), перехід через який веде до різкої якісної зміни плинних процесів, до зміни структури та організації системи.

Пороги самоорганізації реалізуються через *катастрофи*, тобто *стрибокподібні переходи від однієї структурної упорядкованості до іншої у відповідь на зростання суперечливих тенденцій, які ослабляють механізми стабілізації системи*.

Розвиток будь-якої самоорганізуючої системи умовно поділяється на два етапи: дивергентний й конвергентний (еволюційний). Відповідно до цього, синергетика запропонувала еволюційну та біфуркаційну моделі розвитку самоорганізованих систем (табл. 5. 1).

Коротко проаналізуємо суть розвитку сильно нерівноважних систем, попередньо розкривши зміст відповідних термінів.

У методах математичної фізики *дивергенція* (лат. *divergere* – виявляти розбіжність, відхилення) є однією з характеристик неперервного фізичного поля (наприклад, електричного поля напруженості  $\mathbf{E}$ ), та може розглядатися як густина потоку джерела векторного поля з околу даної точки  $M$  назовні. Більш точніше, дивергенція – диференційний оператор, що гомоморфно відображає векторне поле на скалярне, і визначає для кожної точки поля наскільки розходяться вхідний і вихідний потоки. Тобто, в результаті застосування до векторного поля операції диференціювання отримується скалярний поле:

$$(\operatorname{div} \mathbf{E})_M = \lim_{V \rightarrow 0} \frac{\oint E_n dS}{V}, \quad \operatorname{div} \mathbf{E} = \frac{\partial E_x}{\partial x} + \frac{\partial E_y}{\partial y} + \frac{\partial E_z}{\partial z} = \nabla \mathbf{E}, \quad (5.4)$$



де  $E_x$ ,  $E_y$ ,  $E_z$  – проекції векторного електричного поля  $\mathbf{E}$  на осі декартової системи координат;  $\nabla$  – оператор Гамільтона;  $V$  – об'єм, який має замкнута поверхня  $S$ , яка охоплює точку  $M$  поля;  $E_n$  – проекція вектора  $\mathbf{E}$  на одиничну нормаль  $\mathbf{n}$  до замкнутої поверхні, яка має площу  $S$ .

**Конвергенція** (лат. *convergere* – сходиться, наближатися) – це означає сутність, протилежну дивергенції, а саме процес об'єднання (зближення, сходження), який може реалізуватися у спільному існуванні, русі, розвитку. ◀

Розрізняють *два етапи* розвитку самоорганізуючої (нерівноважної) системи.

**1. Дивергентний етап розвитку SS.** На цьому етапі за певних умов виникає **біфуркація** (від лат. *bifurcus* – роздвоєний) – це розгалуження (роздвоєння) шляху еволюції при стрибкоподібному (фазовому) переході через пороговий стан організації системи та перетворення однієї якості системи (речовини чи предмета) в іншу. Такий перехід супроводжується зниженням ентропії тому, що самоорганізація в системі пов'язана з формуванням структури більш складної, ніж первісна.



Найбільш яскраво це проявляється в біфуркаціях, що описуються теорією катастроф. **Володимир Ігорович Арнольд** (1937-2010), видатний російський математик, автор робіт у галузі топології, теорії диференціальних рівнянь, теорії особливостей гладких відображень, теоретичної механіки і теорії катастроф.

У праці “Теорія катастроф”, яка стала класичним виданням з даного питання, дається таке означення: “Слово “**біфуркація**” означає роздвоєння і вживається в широкому сенсі для позначення всіляких якісних перебудов або метаморфоз різних об'єктів при зміні параметрів, від яких вони залежать. **Катастрофою** називається *стрибкоподібні зміни, що виникають у вигляді раптової відповіді системи на плавну зміну зовнішніх умов*” [13, с. 8] (курсив мій. – МК).

В околі точки біфуркації істотну роль відіграє випадковість (за рахунок флуктуацій), Окрім цього, у точці біфуркації вступає в силу **стохастичний характер причинності**, пов'язаний з невизначеністю шляхів подальшого розвитку: а) система деградує до рівноважного стану (смерть біологічних систем) або б) зароджується нова організація (дисипативна структура), яка являє собою систему зі **стійкою нерівновагою**.

У другому випадку SS еволюціонує в сторону максимальної ефективності перетворення зовнішніх потоків речовини й енергії. Чим складніше система, тим більше ймовірність числа можливих шляхів її еволюції зі зміною структури та функцій.

**2. Конвергентний (еволюційний) етап розвитку SS.** Цей етап розвитку існує в інтервалі між біфуркаціями. У цьому випадку домінують детерміновані процеси, а SS адаптується до зовнішнього середовища. Прогресивна еволюція реалізується внаслідок підсилення ролі ПЗЗ, його кореляції зі стабілізуючими змінами НЗЗ, вдосконаленням організації системи.

Отже, реальний процес розвитку SS заснований на інтегративному ефекті взаємодії НЗЗ і ПЗЗ, переважання дії одного зв'язку над іншим, що спричиняє або прогресивний розвиток системи, або регресивний (застійний, консервативний). При цьому проявляється нелінійність системи. Це означає, що між елементами SS за певних умов виникає складна (нелінійна) взаємодія, що проявляється в

далекодіючих кореляціях, когерентностях, кооперативній поведінці та порушенню принципу суперпозиції: результат суми не дорівнює сумі результатів (див. табл. 5. 1).

Таблиця 5. 1

Моделі розвитку синергетичних систем (SS)

Характер процесу розвитку SS	Етап процесу розвитку SS	Механізм самоорганізації	Співвідношення негативного (НЗЗ) і позитивного (ПЗЗ) зворотних зв'язків	Характер керування
Стохастичний	Дивергентний (альтернативний) розвиток SS	Біфуркаційний	$ПЗЗ \geq НЗЗ$ або $ПЗЗ > НЗЗ$	Саморегулювання, ситуаційне “м'яке” керування
Детермінований	Конвергентний, еволюційний (цілеспрямований) розвиток SS	Адаптаційний (мінімальна дисипація енергії)	$НЗЗ \geq ПЗЗ$ або $НЗЗ > ПЗЗ$	Зовнішнє “жорстке” керування домінує над саморегулюванням

Аналогії є в оптиці. Звичайні поліхроматичні світлові хвилі взаємодіють із середовищем незалежно один з одним, тобто виконується принцип суперпозиції. Проте потужне лазерне випромінювання веде себе при взаємодії зі середовищем нелінійно: світлові хвилі сильно взаємодіють між собою, відбувається енергообмін між ними аж до повного перетворення однієї хвилі в іншу. Тому для нелінійних ефектів неможливе застосування принципу суперпозиції.

**П**➔ Належить відзначити ще одну особливість поведінки SS. Як зазначає І. Пригожин, дуже важливо підкреслити, що поведінка таких систем залежить від ретроспективи, тобто “...кінцевий стан залежить від передісторії системи” [170, с. 217]. Це означає, що у нелінійному середовищі наперед задано всі майбутні стани системи, проте в точці біфуркації актуалізується лише один стан.

З філософської точки зору, коли теперішнє  $t_0$  визначається минулим  $t$  ( $t < t_0$ ), то маємо доктрину (учіння) про загальну причинність, або **детермінізм Лапласа** (від лат. *determinare* – визначати, обмежувати). П'єр-Симон де Лаплас (1749-1827) – видатний французький математик, механік, фізик й астроном, який відомий працями в області небесної механіки, диференціальних рівнянь, один з творців теорії ймовірностей. Він поставив і розв'язав другу основну задачу динаміки матеріальної точки (МТ), яка розглянута нижче.

Заданою є сила  $\mathbf{F} = \mathbf{F}(t, \mathbf{r}, \mathbf{V})$ , яка діє на вільну МТ маси  $m$ . Задаються початкові умови, тобто для деякого моменту часу  $t = t_0$  (початковий момент) маємо початкове положення МТ, задане радіусом-вектором  $\mathbf{r}(t_0)$  і початкову швидкість  $\mathbf{V}_0$ , які в проекціях на осі декартової системи координат відповідно мають вигляд:

$$x_0, y_0, z_0; V_{0x} \equiv \dot{x}_0, V_{0y} \equiv \dot{y}_0, V_{0z} \equiv \dot{z}_0 \quad (5.5)$$

Напишемо диференціальне рівняння руху МТ у загальному вигляді

$$m \ddot{\mathbf{r}} = \mathbf{F}, \quad (5.6)$$

або в проекціях на осі координат:

$$\begin{cases} m\ddot{x} = F_x(t, x, y, z, \dot{x}, \dot{y}, \dot{z}), \\ m\ddot{y} = F_y(t, x, y, z, \dot{x}, \dot{y}, \dot{z}), \\ m\ddot{z} = F_z(t, x, y, z, \dot{x}, \dot{y}, \dot{z}). \end{cases} \quad (5.7)$$

Інтегрування диференціального рівняння другого порядку (2.24), в якому невідомою функцією є радіус-вектор  $\mathbf{r}(t)$  рухомої МТ, а аргументом – час  $t$ , дає загальний розв'язок (загальний інтеграл), який являє собою закон руху МТ в явній формі:

$$\left. \begin{aligned} x &= x(t, t_0, x_0, y_0, z_0, \dot{x}_0, \dot{y}_0, \dot{z}_0) \\ y &= y(t, t_0, x_0, y_0, z_0, \dot{x}_0, \dot{y}_0, \dot{z}_0) \\ z &= z(t, t_0, x_0, y_0, z_0, \dot{x}_0, \dot{y}_0, \dot{z}_0) \end{aligned} \right] \quad (5.8)$$

Таким чином, рух МТ відбувається під дією заданої сили  $\mathbf{F}$  і не обмежений ніякими наперед заданими граничними (просторовими) умовами при заданих початкових умовах. Теоретична механіка таку МТ називає *вільною*. З точки зору теорії систем, рухома в силовому (гравітаційному) полі МТ є **простою детермінованою системою**, яка характеризується цілком певною динамічною поведінкою.

Розглянемо сукупність взаємодіючих між собою матеріальних точок і визначимо характер руху такого ансамблю в силовому (зокрема, гравітаційному) полі.

Принцип механічного детермінізму, встановлений раніше для випадку одиночної матеріальної точки, можна застосувати і для  $N$  матеріальних точок. При цьому ми отримаємо систему з  $3N$  диференціальних рівнянь другого порядку за часом для  $3N$  координат. Розв'язок цієї системи рівнянь повністю визначається початковими умовами: координатами і швидкостями всіх матеріальних точок системи в початковий момент часу. Як показано в теоретичній механіці, вивчення руху системи матеріальних точок дуже спрощується, якщо ввести поняття центру інерції системи, який, як відомо, збігається з центром тяжіння всіх матеріальних точок системи. При цьому, завдання визначення руху системи розбивається на два: 1) спочатку знаходиться закон руху центру інерції, і 2) знаходиться закон руху системи відносно її центра інерції.

Механізм функціонування та розвитку  $SS$  суттєво складніший за розглянуті вище класичні уявлення про динамічні механічні системи. Це пов'язано з тим, що поведінка ансамблю частинок, які знаходяться в однорідному силовому полі суттєво залежить від зв'язків між частинками, які мають фізичну, хімічну або / і біологічну природу та проявляється у ряді специфічних ефектів (кореляції, когерентності, кооперативній поведінці), а також від інтенсивності вхідних і вихідних потоків речовини, енергії та інформації. Як результат, поведінка частинок  $SS$  має, принаймні, стохастичний характер.

Разом з тим, спроба розглядати  $SS$  як імовірнісну модель, поведінка якої досліджується в рамках ергодичної теорії, зазнала невдачі (*ергодична*, від грец. *εργον* – робота і *ὁδός* – шлях).

У 1871 р. видатний австрійський фізик-теоретик Л. Больцман (1844-1906) запропонував **ергодичну гіпотезу** в статистичній фізиці – припущення про те, що середні за часом значення фізичних величин, що характеризують систему, дорівнюють їх середнім статистичним значенням. Це служило підґрунтям статистичної фізики, яку розробляв вчений. Ним же було уведено поняття **ергодична система** – "...система, в якій енергія є єдиним інваріантом" [170, с. 333]. Зазначимо, що **інваріант** – об'єкт, який є незмінним по відношенню до деяких перетворень.

У ХХ ст. була розроблена **ергодична теорія** (А.М. Колмогоров, О.Я. Хінчін, Я.Г. Сінай, В.І. Арнольд, П. Біллінгслей та ін.), яка розглядає умови встановлення в імовірнісних системах певних завбачених форм поведінки.

Систему вважають ергодичною, якщо в ній фазові середні збігаються з часовими середніми, тобто є інваріантами (математичне сподівання за просторовим рядом повинно збігатися з математичним сподіванням за часовим рядом). При цьому, **ергодичність розглядається як спеціальна властивість деяких динамічних систем**, що полягає в тому, що в процесі еволюції майже кожний стан з певною ймовірністю проходить поблизу будь-якого іншого стану системи (допитливий та підготовлений в математичному сенсі читач може детально познайомитися з предметом розгляду за книжкою [183]).

Перевага ергодичної теорії полягає в тому, що при достатньому часі спостереження динамічну систему можна описувати статистичними методами. А.М. Колмогоров показав, що в будь-якому інформаційному масиві може бути встановлений статистичний закономірний зв'язок

між елементами, а отже і спосіб його відтворення, на підставі даних значно меншого обсягу. Основна задача ергодичної теорії полягає у вивченні статистичних властивостей груп рухів не випадкових об'єктів. Вказана теорія досліджує категорію просторів з мірою та їх морфізмів, які зберігають міру перетворень.

Ергодична теорія починається з таких базових понять:

1. Ймовірнісний простір (уведений А.М. Колмогоровим) – це така трійка  $(\Omega, \mathcal{F}, P)$ , де  $\mathcal{F}$  – сигма-алгебра ( $\sigma$ -алгебра) підмножин множини  $\Omega$  – простору елементарних (випадкових) подій:  $\Omega = \{\omega_1, \omega_2, \omega_3, \dots, \omega_n\}$ ,  $P$  – ймовірність або ймовірнісна міра, тобто сигма-адитивна скінченна міра, така що  $P(\Omega) = 1$ . Спрощено ймовірнісний простір позначається так:  $(P, \Omega)$ .
2. Простір станів – це теж саме, що й фазовий простір ( $n$ -мірний простір, в якому розглядається розв'язок автономної системи диференціальних рівнянь).
3. Поле подій – це теж саме, що і  $\sigma$ -алгебра подій. Подія, що може відбутися внаслідок проведення однієї і лише однієї спроби (експерименту), називається простою (елементарною) випадковою подією  $\omega_i$ ,  $i = \overline{1, n}$ .
4. Метричний простір  $\mathfrak{N}$ , в якому виділена  $\sigma$ -алгебра його підмножин. Нехай в  $\mathfrak{N}$  діє деяка група злічених перетворень  $G$ . Тоді для всякого елемента  $g \in G$  перетворення  $T_g : \mathfrak{N} \rightarrow \mathfrak{N}$  визначено так, що  $T_g$  – є вимірне перетворення, тобто якщо  $A \in \mathcal{F}$ , то  $T_g(A) \in \mathcal{F}$ ,  $T_g^{-1}(A) \in \mathcal{F}$ . ◀

На відміну від динамічних об'єктів, якими можна управляти, змінюючи крайові умови (початкові та граничні), дисипативні (просторово-часові) структури тільки частково керовані та суттєво відрізняються від “класичних” динамічних систем. Це проявляється в таких (вище не розглянутих) **закономірностях розвитку** самоорганізуючих (нерівноважних) систем:

- ❖ Хаос, що є руйнівний для складних систем, є конструктивний (твірний, породжуючий) під час переходу системи в нові стани.
- ❖ Розвиток відбувається через суттєву нерівноважність і нестійкість деяких станів системи: “при підході впритул до точок біфуркації флуктуації стають аномально сильними і закон великих чисел порушується” [170, с. 240]; у точках біфуркації відбувається незворотний перехід до якісно іншого макроскопічного стану.
- ❖ “Флуктуація в нерівноважних процесах визначає глобальний результат еволюції системи” [170, с. 237].
- ❖ Нова організація (або дисипативна структура) з'являється як результат істотної нерівноважності стану та виникнення біфуркації, проте вона непередбачувана, хоча потенційно знаходиться в спектрі можливих станів.
- ❖ У нелінійному середовищі наперед потенційно задані всі майбутні стани, проте актуалізується лише один стан (у точці біфуркації).
- ❖ “У сильно нерівноважних умовах процеси самоорганізації відповідають тонкій взаємодії між випадковістю і необхідністю, флуктуаціями і детерміністичними законами... поблизу біфуркацій основну роль відіграють флуктуації або випадкові елементи, тоді як в інтервалах між біфуркаціями домінують детерміністичні аспекти” [170, с. 235].
- ❖ Теперішній стан не лише визначається минулим (заданими початковими умовами та передісторією системи), але й формується з майбутнього, як тенденція, хоча “...майбутнє не містить у собі сьогодніня” [170, с. 346]; проте



на відміну від класичної теорії, “...передбачувані тільки ймовірності, а не окремі події” [170, с. 292] (підкреслено мною. – МК).

- ❖ Еволюційний етап розвитку SS визначається “*стрілою часу*” (Л. Больцман), тобто напрямом від менш імовірних станів до більш імовірних.

Зазначимо, що ні методи класичної механіки, ні теорія суцільного середовища, ні ергодична теорія не змогли пояснити безліч природних явищ й експериментальних даних, пов’язаних з процесами самоорганізації (перехід від ламінарного руху рідини до турбулентного, комірки Бенара, хімічний годинник і т. ін.). Тому вченими був створений новий методологічний і математичний апарат, який доступний для дослідників, що мають досить високу фізико-математичну підготовку. Разом з тим, ідеї синергетики проникли в майже всі наукові дисципліни, які оперують поняттями “динамічна система”, “розвиток”, “самоорганізація” і т. п.

**ДВ→** Минулі три десятиліття характеризувалися обвальним зростанням публікацій на синергетичній проблематику, з’явилися нові наукові підходи, зокрема запропонований у 2002 г. М. Роко і У. Бейнбріджем **NBIC-конвергенція** (назва відтворює перші літери відповідних областей: N – нанотехнології (від гр. *nannos* – карлик); B – біо (від гр. *bios* – життя); I – інформація (від лат. *informatio* – роз’яснення, виклад); C – когнітивний (від лат. *cognitio* – сприйняття, пізнання), а термін “конвергенція” (від лат. *converge* – сходиться, наближатися) – процес зближення, сходження (у різному сенсі). Не ставлячи за мету розкрити зміст цього підходу (див. [169]), висвітливо тільки відмітні особливості NBIC-конвергенції:

- інтенсивна взаємодія між зазначеними науковими і технологічними галузями;
- значний синергетичний ефект;
- широта охоплення розглянутих предметних галузей;
- виявлення перспектив якісного зростання технологічних можливостей індивідуального та суспільного розвитку людини. ◀

---

### 5.3. Розвиток організаційних систем

---

Приклади негативного і позитивного синергетичного ефекту. Управлінський синергетизм. Гнучкі організації. Еволюційний і біфуркаційний етапи розвитку організаційних систем. Управління на еволюційному та біфуркаційному етапах. Принцип Рене Тома. Невизначеність організаційних систем. Аналіз процесів навчання та самонавчання.

---

Організаційні (соціальні, соціально-економічні, соціально-технічні, зокрема, ергатичні) системи у більшості випадків розглядаються (моделюються) як **нерівноважні**, що спонтанно забезпечує розвиток ефекту самоорганізації людського чинника та відповідного самоврядування.

Розглянуті ознаки, які подані в табл. 4.1, достатньо для того, щоб віднести організаційні системи до класу **синергетичних або самоорганізуючих систем**. З другого боку, ОС можна розглядати як **кібернетичну систему** – асоційовану групу суб’єктів виробничої (професійної) діяльності, які мають власні цілі.

**Управлінський та структурний синергізм** ґрунтуються на синергетичних зв’язках, тобто на негативному та позитивному зворотних зв’язках (НЗЗ і ПЗЗ).

Відповідно до концепції математика і економіста російського походження Ігоря. Ансоффа (1918-2002) [11], розвиток (прогресивний або регресивний) організаційної системи пояснюється поняттям “**синергетичний ефект**”, який

поділяється на структурний й управлінський, позитивний і негативний. Як відомо, основне значення (етимологія) слова “*синергетика*” від грец. *συνεργός* – спільна або кооперативна дія.

Механізм поведінки ОС пояснюється інтенсивністю та напрямом зворотних зв’язків в системі. Зворотні (синергетичні) зв’язки обумовлені *кооперативними* (спільними, узгодженими) діями елементів самоорганізуючої ОС в процесі еволюції та є умовами першорядної важливості для адаптації. Цей механізм функціонування та розвитку системи виходить із *ефекту синергії*: потенціал самоорганізуючої системи  $\varphi$  відрізняється від алгебраїчної суми потенціалів її частин  $\varphi_i, i = \overline{1, n}$ , тобто:

$$\varphi \neq \sum_{i=1}^n \varphi_i, \quad (5.9)$$

де  $n$  – число частин системи.

Розрізняють синергетичні ефекти двох типів: негативний і позитивний.

**Негативний синергетичний ефект** : *потенціал системи менше алгебраїчної суми потенціалів її частин, що, зокрема, формально має вигляд:  $2+2=3$* . Відповідний вираз через потенціали такий:

$$\varphi < \sum_{i=1}^n \varphi_i. \quad (5.10)$$

**Негативний синергетичний ефект** спостерігається в процесах, які описуються в ядерній фізиці як закон дефекту маси : сума мас вихідних реагуючих нуклонів більше маси ядра, яке утворилося в результаті ядерного синтезу, тобто

$$m_{\text{я}} < \sum_{i=1}^n m_i. \text{ Очевидно, дефект маси } \Delta m = \sum_{i=1}^n m_i - m_{\text{я}} \text{ втілюється в енергії зв'язку}$$

нуклонів в ядрі, відповідно з формулою А. Ейнштейна

$$\Delta E = c^2 \cdot \Delta m. \quad (5.11)$$

Негативний синергетичний ефект в економічних системах призводить до їх стабільності, консервативності й інерційності, що спричиняє з часом до їх регресивного розвитку і деградації. Втрата динамічної рівноваги для таких систем не може компенсуватися “жорстким” управлінням з огляду на незначну ступінь їх гнучкості. Ось чому відносно великі та складні вузькоспеціалізовані підприємства “руйнуються” в нестабільних ринкових умовах, а “живучими” виявляються малі та середні підприємства, в яких спільна праця працівників викликає ефект синергії у максимальному ступені.

Прогресивний розвиток організаційної системи забезпечується *позитивним синергетичним ефектом*: *потенціал системи більше алгебраїчної суми потенціалів її частин, що, зокрема, формально має вигляд:  $2 + 2 = 5$* . Відповідний вираз через потенціали такий:

$$\varphi > \sum_{i=1}^n \varphi_i. \quad (5.12)$$

Позитивний структурний синергізм, як правило, пов'язаний з об'єднанням ресурсів організацій (компаній, фірм, підприємств тощо). Зокрема об'єднання ресурсів двох компаній дозволяє знизити витрати на 15-25 % та збільшити обсяги продаж товарів на 25-30 %. При цьому продукція однієї компанії може реалізуватися через збутову мережу другої [120].

Приклади позитивного синергетичного ефекту є такі:

- ❖ Група робітників організації (підприємства) виготовляє продукцію за обсягом більшу, ніж сума продукції, виготовленої кожним робітником окремо. Це пов'язано з кооперативністю поведінки суб'єктів виробничої діяльності та переважанням ПЗЗ над НЗЗ у питаннях управління. При цьому виконання цільових показників прибутковості і зростання продажів є відгуком на збурення зовнішнього середовища і характеризує конкурентоздатність організації.
- ❖ Обмін науковими ідеями спричиняє до синергетичного ефекту, так як в результаті ідей стає дві (обмін яблуками не спричиняє до синергетичного ефекту, так як яблук залишається, як і раніше, по одному).

Управлінський синергізм полягає в більш ефективному управлінні виробництвом завдяки впровадженню нової системи фінансового контролю, підвищенню відповідальності працівників (робітників, інженерів, менеджерів, керівників) за виконання бюджету, скорочення необґрунтованих витрат, продажу необґрунтованого бізнесу тощо. Управлінський синергізм веде до зниження витрат, але значно рідше він веде до збільшення обсягу продажів компанії.

Управлінський синергізм вимагає *гнучкості управління*: організація і методи управління повинні будуватися у відповідності з ситуацією, в якій знаходиться в даний час ОС. Якщо змінюється ситуація, то повинні змінюватися і конкретні завдання ОС, повинна змінюватися структура системи, її стратегія та методи діяльності.

Синергетизм полягає в пошуку ресурсів і можливостей, які за рахунок кооперативних дій дозволяють домагатися успіху компанії (збільшення обсягу продаж товарів, скорочення витрат на управління, прискорення впровадження інновацій тощо). При цьому важливу і часом ключову роль відіграє ступінь *управлінського синергізму*, який базований на синергетичних зв'язках (НЗЗ і ПЗЗ).

Незначне переважання ПЗЗ над НЗЗ спричиняє прогресивну еволюцію ОС і, навпаки, переважання НЗЗ над ПЗЗ призводить до регресивного розвитку і деградації системи. При цьому, ступінь керованості організаційної системи при зміні режимів роботи або випущеної продукції відображає гнучкість системи.

*Гнучкість організації можна визначити як її здатність набувати нові властивості, змінювати функції, структуру, технології та інші внутрішні фактори та чинники, які відображають зміни зовнішнього середовища.*

При цьому гнучкість може розглядатися двояко:

- 1) *адаптивна гнучкість* – пристосовність системи до умов середовища;
- 2) *нормативна гнучкість* – довільні зміни стану або поведінки системи в результаті певного впливу на неї.

Очевидно, характер ситуаційного управління суттєво відрізняється на еволюційному та біфуркаційному етапах розвитку організаційних систем.

На *еволюційному (конвергентному) етапі* цілеспрямованого розвитку ОС адаптується до навколишнього середовища, що забезпечує її динамічну стійкість (стабільність) в даних конкретних умовах. Динамічна стійкість організаційної системи проявляється в детермінізмі (причинній обумовленості) економічних явищ і процесів. Це означає, що процеси в системі можна контролювати, а значить ними можна управляти. Разом з тим, нерівноважність організаційних структур, можливість розвитку випадкових, непередбачуваних, невизначених подій і флуктуацій (збурень), що сприяють цим подіям, існування одночасно порядку і безпорядку (хаосу) призводить до того, що навіть на еволюційному етапі розвитку ОС не можна абсолютно контролювати стани системи.

Звідси, *претензії на ряду авторів на абсолютне управління в організаційних системах безпідставні.*

Нехай  $\lambda$  – параметр ОС, яким можна управляти (управляючий параметр), який ще має назву “*параметр біфуркації*” та виконує роль “відстані від рівноваги системи”;  $x$  – основна внутрішня змінна ОС. До множини основних внутрішніх змінних (X) в будь-якій організації є: ентропія (термодинамічний параметр), цілі діяльності, завдання, структура, люди (працівники, співробітники) і технології.

На рис. 5.3 показаний *еволюційний (цілеспрямований) етап розвитку* ОС для  $\lambda < \lambda_c$  як “става траєкторія JB” – геометрична інтерпретація стійкого функціонування або / і розвитку системи. На цьому етапі спостерігається незначне зростання внутрішньої змінної, зокрема ентропії та реалізується детермінований характер розвитку організаційних систем, а механізм самоорганізації є адаптаційний (див. табл. 5. 1).

Дуже важливо підкреслити, що поведінка таких систем залежить від їх передісторії. Почавши з малих значень управляючого (керуючого) параметра  $\lambda$  і повільно його збільшуючи, ми з великою ймовірністю опишемо траєкторію, яка виходить на “траєкторію BD”. Навпаки, почавши з великих значень основної внутрішньої змінної  $x$  і підтримуючи постійне значення управляючого параметра  $\lambda$ , ми з великою ймовірністю прийдемо на “траєкторію BA” [170].

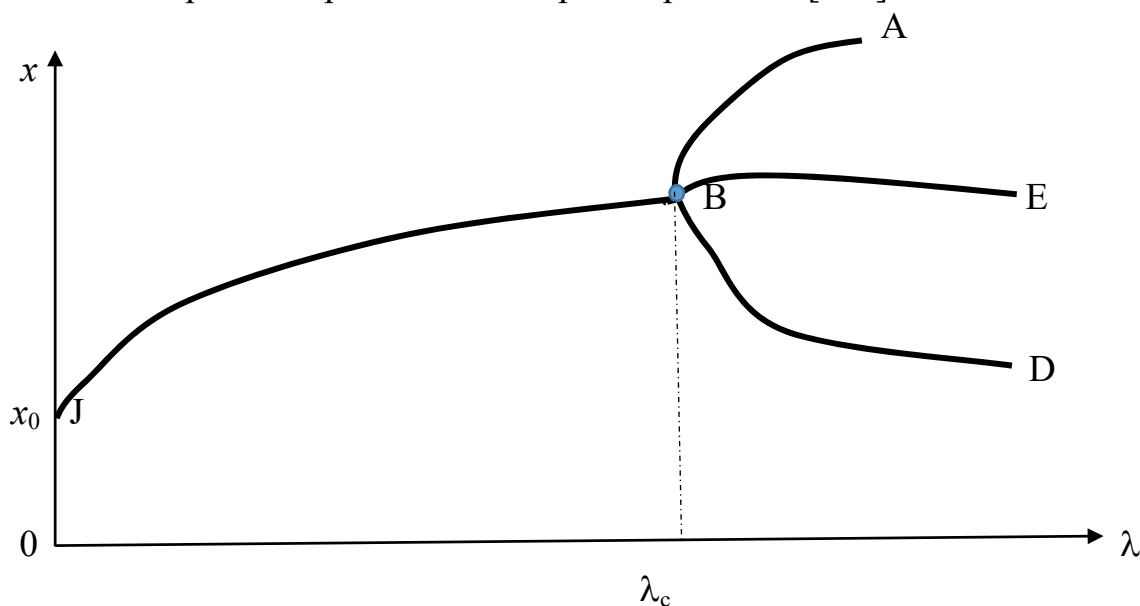


Рис. 5.3. *Графік переходу еволюційного етапу розвитку ОС у біфуркаційний етап*

При критичному значенні управляючого параметра  $\lambda = \lambda_c$  маємо **точку біфуркації В**, за якої ОС стає нестійкою відносно флуктуацій.

**Біфуркація** полягає в розгалуженні шляхів еволюції при переході через пороговий стан організації системи. При цьому, ПЗЗ значно переважають НЗЗ, а внутрішні суперечності в системі (організації, фірмі, компанії, підприємстві) можуть призвести до різких, стрибкоподібним якісним змінам станів системи і процесів, що там відбуваються. При цьому адекватне динамічне (ситуаційне) управління, яке враховує ефект синергії, може спричинити до стрибкоподібного прогресу, новаціям і оновленню системи (“траєкторія ВD” на рис. 5. 3), а неадекватне управління може призвести до катастрофи – “загибелі” системи (“траєкторія ВА”), яке супроводжується значним збільшенням ентропії  $x$ . Проміжний стан займає формування нової динамічної структури за траєкторією ВЕ. Ця структура є відносно більш нестійка, ніж структура за траєкторією ВD.

На **дивергентному (альтернативному) етапі** ( $\lambda > \lambda_c$ ) розвиток ОС має високу ступінь нерівноважності (стохастичний характер процесу), тому контролювати, а значить, управляти соціально-економічними процесами нелегко, а часом навіть неможливо. Висока ступінь непередбачуваності поведінки ОС або / і надсистеми призводить до великого ризику планування. На цьому етапі діє біфуркаційний механізм самоорганізації системи (див. табл. 5. 1). Очевидно, що на цьому етапі розвитку ОС реалізація гнучкості здійснюється за допомогою адекватного динамічного управління, а саме від “жорсткого” до “м'якого” в залежності від поточної ситуації.

Характер процесу розвитку системи на дивергентному етапі є стохастичним. При цьому, цілі розвитку організації треба постійно уточнювати й адаптувати до зовнішніх ринкових умов. Алгоритми управління повинні бути гнучкими і базованими на ймовірнісних або на нечітких оцінках. У цій ситуації кооперація (синергізм) і управлінські зусилля повинні бути максимальні. Правильне управлінське забезпечення повинно вивести ОС на прогресивну гілку еволюційного розвитку (“траєкторія ВD” на рис. 5.3).

Таким чином, траєкторія, за якою розвивається ОС при збільшенні управляючого параметра, характеризується послідовним переходом від стійкої області (для  $\lambda < \lambda_c$ ), де домінують детерміністичні закони, до нестійкої області поблизу точки біфуркації В (для  $\lambda \geq \lambda_c$ ), де домінують флуктуації та стохастичні закони, а перед системою відкривається можливість вибору одного з декількох варіантів майбутнього розвитку. Як зазначає І. Пригожин, “... сильно нерівноважних умовах процеси самоорганізації відповідають тонкій взаємодії між випадковістю і необхідністю, флуктуаціями і детерміністичними законами” [170, с. 235].

**Ілля Романович Пригожин (1917-2003)** – бельгійський фізик і фізико-хімік російського походження, лауреат Нобелівської премії з хімії (1977).



**П→** Управління в ОС на еволюційному етапі її розвитку покликане забезпечити ситуаційний баланс між негативним і позитивним зворотними зв'язками (НЗЗ і ПЗЗ) або незначне переважання ПЗЗ над НЗЗ.

Управління в ОС на дивергентному етапі її розвитку (за виключенням катастроф) пов'язано з **позитивним синергетичним ефектом**: підсилення інтенсивності протікання нерівноважних

процесів, що сприяє підвищенню ефективності функціонування системи і раціональному використанню ресурсів, що поступають із зовнішнього середовища, а також підвищують цілісність організації. При цьому, джерелом структурної еволюції є *флуктуації*, які “запускають” механізми нестійкості, які, в свою чергу, спричиняють до формування нової просторово-часової (дисипативної) структури. ◀

Отже, флуктуації визначають результат розвитку системи, який має два етапи: еволюційний і дивергентний.

На еволюційному етапі відбувається самонастроювання параметрів ОС, яка забезпечує їй стійкість (стабільність) в конкретних умовах зовнішнього середовища. На вказаному етапі відбувається розширення області гомеостазу за рахунок множини пов'язаних (сполучених) зовнішніх параметрів, які забезпечують надійність функціонування ОС.

При досягненні точки біфуркації нерівноважність системи досягає критичного рівня, за якого найменші внутрішні чи зовнішні флуктуації можуть виявитися пусковою причиною переведення ОС в новий стан (це пов'язано з внутрішніми суперечностями в системі). Це рівень стохастичних міжелементних взаємодій, який викликає *стрибок*, тобто заміна одних зв'язків іншими, перехід кількісних змін в якісні, а саме докорінне *перетворення старої якості системи в нову якість* (докорінна якісна зміна). Це означає, що відбудеться формування нової дисипативної (просторово-часової) структури або система руйнується: на дивергентному етапі розвитку: при переході через точку біфуркації при значеннях управляючого параметра  $\lambda \geq \lambda_c$  виникає *катастрофа* – швидкий перехід від одної структурної упорядкованості до другої, що супроводжується раптовою зміною ентропії (“траєкторія ВА”, рис. 5.3).

Таким чином, стохастичний характер розвитку спонукає до виникнення різних варіантів просторово-часових (дисипативних) структур різноманітних рівнів організації або ОС руйнується до рівня незв'язаних елементів, тобто *хаосу*.

Кількісні закономірності вказаних процесів і явищ читач може знайти в джерелах [6; 36; 201].

Викладений вище якісний опис не применшує науково-методичної цінності навчального матеріалу. Відповідно до *принципу Рене Тома, якісне дослідження процесів ні в якій мірі не є чимось другорядним по відношенню до їх кількісного опису, навпаки, воно носить основоположний характер* [233].

Зазначимо, що організаційним системам може бути притаманна *невизначеність*. Невизначеності нестохастичного (нечіткого) характеру для організаційних систем виникають в силу наступних обставин [128]:

1. Наявність цілеспрямованої протидії з боку конкуруючої системи, способи дії якої невідомі досліднику (*поведінська невизначеність*).
2. Недостатня вивченість деяких явищ, які супроводжують процес функціонування системи (*природня невизначеність*).
3. Нечітке уявлення мети операції, що призводить до неоднозначної трактовки відповідності реального результату операції бажаному результату (*цільова невизначеність*).

Реальний результат операції  $Y$  залежить від корисного ефекту від операції  $q$ ,

затрачених ресурсів  $C$  і проміжку часу проведення операції  $T$ , тобто маємо вектор:

$$Y = (q, C, T). \quad (5.13)$$

**ДВ→ I**, нарешті, повернемося до рис 1.17, на якому зображені шкали рівнів якості засвоєння знань і вмінь. Як показав видатний російський дидакт В.П. Беспалько (народ. в 1930 р.), *коефіцієнт засвоєння знань і вмінь*  $k_\alpha$  в рівномірній шкалі визначається за формулою

$$k_\alpha = \alpha / p, \quad (5.14)$$

де  $\alpha$  – кількість правильно виконаних учнями операцій тесту,  $p$  – еталон.

Як вказує В.П. Беспалько, коефіцієнт засвоєння піддається нормуванню ( $0 \leq k_\alpha \leq 1$ ) і на цій основі легко зіставляється з будь-якою шкалою оцінювання. “За коефіцієнтом засвоєння судять про завершеність процесу навчання. Проведені дослідження показують, що при  $k_\alpha \geq 0,7$  процес навчання можна вважати завершеним, так як в подальшій діяльності учень здатний в ході самонавчання удосконалювати свої знання. При засвоєнні з коефіцієнтом  $k_\alpha < 0,7$  учень в наступній діяльності здійснює систематичні помилки та неспроможний до їх виправлення” (с. 58-59) [Див.: Беспалько В.П. Слагаемые педагогической технологии. – М.: Педагогика, 1989. – 191 с.].

Вважаючи, що ДС відноситься до типу організаційних, застосуємо отримані нами раніше результати при застосуванні 100-значної рівномірної шкали  $0 \leq k_\alpha \leq 100\%$ .

Автором експериментально показано [113], що в *зоні процесу навчання* або *керованого учіння* діє *адаптаційний механізм самоорганізації ДС*, а динамічна стійкість процесу навчання забезпечується домінуванням “*жорсткого*” (зовнішнього) управління учінням над самокеруванням, що досягається переважанням НЗЗ над ПЗЗ. Вказаному механізму самоорганізації відповідає *еволюційний етап розвитку ДС*, де рівні фахових знань студентів  $L_j$ ,  $j = \overline{1, k}$  за 100-значною шкалою  $L_j \leq 70\%$ . Реалізуючи управління навчально-пізнавальною діяльністю студентів за відхиленням (тобто принцип НЗЗ), можна забезпечити стійкість і стабільність процесу навчання у відповідному режимі, а також зменшити або усунути відхилення параметрів цього процесу від небажаних значень незалежно від того, яким збуренням воно викликано. Для реалізації НЗЗ кожний із двох змістових модулів забезпечується тестовим контролем знань і вмінь студентів. До засобів контролю відносяться також усне опитування на початку лекції.

Очевидно, що при переході в *зону процесу самонавчання* ( $70\% < L_j \leq 100\%$ ), відбувається інверсія – вступає в силу *біфуркаційний механізм самоорганізації ДС* і стохастичний характер процесу учіння, який забезпечує умови для психічної саморегуляції особи та ефективного самокерування. Інтегральний позитивний *синергетичний ефект*, який є результатом пізнавальної активності студентів, їх кооперативної та когерентної поведінки, творчої співпраці та здорової конкуренції, спричиняє зростання ступеню нерівноважності ДС. Динамічна стійкість процесу навчання тут забезпечується психічним саморегулюванням, самоуправлінням та адекватним ситуаційним управлінням діями студентів з боку викладача. Це управління переважно є “*м’яким*” і досягається домінуванням ПЗЗ над НЗЗ.

Біфуркаційному механізму самоорганізації відповідає *дивергентний етап розвитку ДС*, на якому інформаційно-контролююча функція викладача трансформується в консультативно-координуючу, тобто управління процесом учіння замінюється самоуправлінням, яке реалізується в формі *самонавчання*. При цьому навчання індивідуалізується за змістом, темпом і когнітивним стилем, тобто реалізується *головна перевага технології модульно-кредитного навчання* – орієнтація на діяльність студентів, на їх самонавчання, на виконання вправ і самоконтроль, що досягається гнучкістю і мобільністю інформаційного (інформаційно-комунікаційні технології) і навчально-методичного інструментарію.

У цій праці не розглядаються *процеси катастрофічного типу*, які можливі у ДС за певних умов під дією флуктуацій та зовнішніх збурювальних впливів певної інтенсивності. ◀

---

## 5.4. Техносфера та її артефакти

---

Соціосфера, техносфера. Продукт, продукція, якість продукції. Типи продукції. Продукція як носій якості. Готова продукція, сировина, матеріали. Виконані роботи та послуги. Артефакт. Види артефактів. Означення техніки. Класи ТС. Самоорганізуючі системи в техносфері: суть, типи.

---

Історичний розвиток суспільства, як організованої сукупності людей, або *соціосфери* (цей термін уведений до наукового обігу німецьким географом Е. Нефом у 1967 р.) спричинив до зародження та розвитку техносфери.

*Техносфера – сфера, яка містить штучні технічні об'єкти (артефакти), які виготовляються та використовуються людиною, на противагу натуральним речам, створених природою.*

Поняття “техносфера” відображає сукупність технічних пристроїв і систем разом зі сферою конструкторської та виробничої діяльності людини. Її структура досить складна, так як включає в себе техногенну речовину, технічні системи, живу речовину, верхню частину земної кори, атмосферу, гідросферу. Більш того, з початком ери космічних польотів техносфера вийшла далеко за межі біосфери і охоплює вже навколоземний космос, тобто видиму частину Всесвіту (рис. 5.4).

Поки що наука і техніка націлені головним чином на максимальну експлуатацію природних ресурсів, задоволення потреб людини і суспільства. Світ навколо нас і сама людина в ХХ – початку ХХІ ст.ст. значно змінилися завдяки активній техногенної діяльності соціуму.

Техносфера стрімко розвивається (в об'єктному та структурному відношенні) та постійно збагачується все новими і новими внутрішніми зв'язками та зв'язками з природним ландшафтом.

У сучасних процесах глобалізації техносфера виступає в подвійній ролі:

1. По-перше, вона є інструментом глобалізації, а також свого роду причиною цього явища;
2. По-друге, з моменту свого утворення техносфера (як сукупність техніки і технологічних процесів) сама глобалізується, поглинаючи і вкорінюючи в собі саму людину (наприклад, сучасній людині внутрішньо притаманно наявність смартфона або мобільного телефона, незважаючи на певну шкідливість цих апаратів для здоров'я).

Структурними елементами техносфери, як штучного явища, є територіально-промислові комплекси (ТПК), а саме агропромислові, промислові, гірничо-видобувні, гірничо-переробні, містобудівельні, енергетичні, рекреаційні та інші комплекси. Транспортні комунікації пов'язують ці мегаоб'єкти у загальний каркас техносфери.

Внутрішню структуру техносфери визначають процеси, що відбуваються в ній. Можна виділити такі класи перетворень:

- процеси перетворення речовин;
- процеси перетворення енергії;
- процеси перетворення інформації;
- процеси перетворення матеріальних виробів;
- процеси експлуатації виробів (технічних систем);
- процеси утилізації виробів.



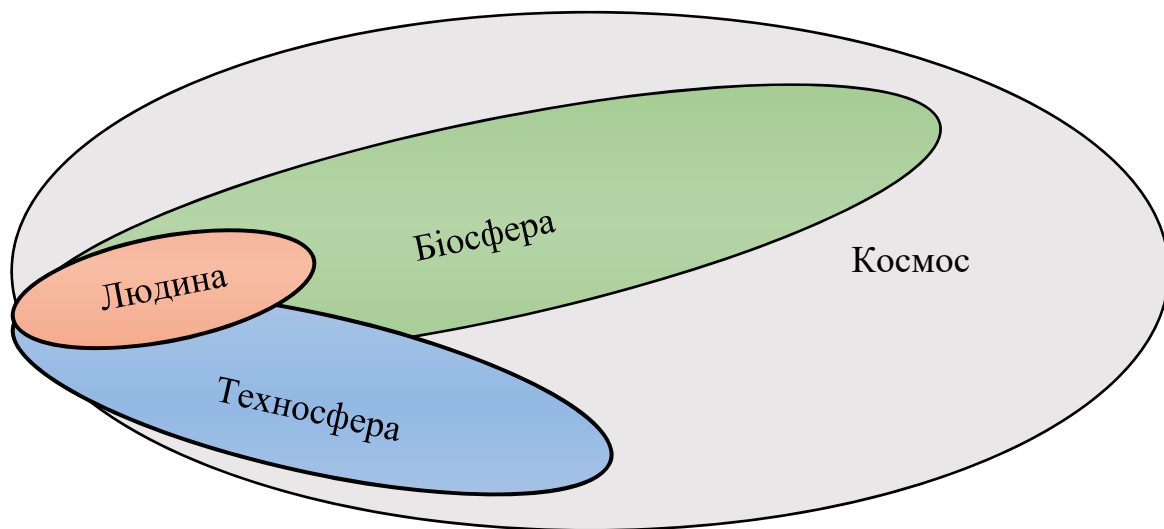


Рис. 5.4. Взаємовідношення техносфери, біосфери, людини і космосу

Елемент техносфери – об’єкт, родь якого відіграє **технічний виріб** певного цільового призначення, що розглядається в періоди проектування, виробництва, випробувань й експлуатації. Об’єктами можуть бути різні системи та їх елементи, зокрема: спорудження, установки, технічні вироби, пристрої, машини, апарати, прилади та їх частини, агрегати й окремі деталі.

Надійність та живучість техносфери залежить від якості *технічних виробів*, а також від дотримання нормативних правил їх експлуатації, безпеки та збереження.

Очевидно, що виробнича діяльність людей і функціонування технічних об’єктів, які виконують роль засобів виробництва і /або знарядь праці, спричиняє до появи виробів (продукції), яка приймає форму матеріального продукту.

Як ми вже відзначали, що з точки зору маркетингу **продукт** – це товар або послуга, яку можна запропонувати для ринку, і яка буде задовольняти потреби споживачів [102]. Економічна категорія “**матеріальний продукт**” (продукт, представлений в матеріально- речовій формі) первісно має статус загальнонаукової категорії “**продукція**”.

**Якість продукції** – це сукупність властивостей продукції, які зумовлюють її придатність задовольняти певні потреби відповідно до її призначення.

Продукція класифікується на такі **типи**:

- a) виробнича продукція;
- b) інші види продукції (сільськогосподарська, тваринницька, мануфактурна тощо);
- c) енергетична продукція;
- d) інформаційна й інформатизована продукція;
- e) інтелектуальна продукція (науково-технічна, винахідницька, освітня тощо).

Зазначимо, що енергетична продукція має дуальне призначення: вона виступає як основа виробничих і технологічних процесів (металургійних, металообробних,

хімічних тощо), а з другого боку як вітальна (життєва) потреба людини в підтриманні гомеостазу.

Таким чином, **продукція є носієм якості**. В свою чергу, **якість продукції можна розглядати як наслідок кумулятивного (накопичувального) зростання науково-технічного потенціалу соціуму**. Звідси випливає, що **прогресивний розвиток продукції є основою поліпшення якості**.

**Виробнича продукція (виріб) є носій якості. Прогресивний розвиток продукції, як технічної системи, є основою поліпшення якості.**

Таким чином, аналізуючи **еволюцію продукції** (детермінований етап розвитку), а значить і **еволюцію її якості** (сукупності властивостей), потрібно, насамперед, розглядати розвиток **носіїв якості** – готова продукція та послуги.

**Готова продукція** – це виріб, що повністю закінчений обробкою на даному підприємстві, пройшов всі стадії технічного випробування (якщо вимагають відповідні його особливості), сертифікований, відповідає технічним умовам і стандартам, не потребує подальшої обробки на цьому підприємстві, готовий до реалізації та зданий на склад.

Готова продукція є матеріальним результатом виробничої діяльності, що має уречевлену або предметну форму (одяг, хліб, машини, обладнання, прилади тощо). Роль готової продукції може відігравати **енергія** певних параметрів (наприклад, електроенергія), а також **інформація** у вигляді сигналів певної форми, частоти, інтенсивності тощо.

Зазначимо, що на виробництві знаходяться **напівфабрикати** – це продукція окремих технологічних фаз (підрозділів, цехів, дільниць, бригад), що не пройшла всіх передбачених технологічних процесів та стадій виробництва, а також потребує доопрацювання або укомплектування, але для даної стадії вони є закінченими.

Окрім напівфабрикатів, на виробництві знаходяться **сировина** і **матеріали**, які підлягають подальшій обробці.

Підприємство може виконувати певні роботи для інших підприємств або надавати їм послуги. Наприклад, ремонтні роботи, перевезення вантажів своїм автотранспортом для інших підприємств та ін.

На відміну від речовинної продукції (“готової продукції”), цей вид продукції називають **“виконані роботи та послуги”**.

Таким чином, продукція підприємства може складатися з готової продукції та виконаних робіт та послуг, які підлягають бухгалтерському обліку [29].

На наш погляд, виконані роботи та послуги з точки зору маркетингу відносяться не до виду продукції, а до виду **продукту діяльності**.

З іншого боку, виготовлена продукція зобов'язана своєю появою **потребам** людини, держави та суспільства (соціуму) в цілому.

Техносфера, як цілісна система, включає в собі технічні артефакти (лат. *artefactum* – штучно зроблений), які розвиваються відповідно певних закономірностей. У даному контексті поняття **“артефакт”** ми будемо розуміти в широкому сенсі, а саме як **штучне (антропогенне) утворення матеріальної субстанції (речовина, фізичне поле, інформація), яке доповнене його**

соціокультурним значенням. Іноді артефактами називають всі предмети, створені людиною на протипагу натуральним речам, створеним природою.

Належить зазначити, що у вузькому сенсі поняття “артефакт” розглядається в археології, як об’єкт, підданий в минулому спрямованій механічній обробці та виявлений в результаті цілеспрямованих археологічних розкопок або випадкової події. Прикладами артефактів є кам’яні інструменти, ювелірні вироби, зброя, кераміка, споруди та їх деталі, кістки та ін.

Все сказане дає змогу сформулювати наступне синтетичне означення.

*Техніка* – це сукупність цілеспрямовано створюваних людьми або автоматами артефактів, призначених для здійснення процесів виробництва й обслуговування виробничих і невиробничих потреб суспільства.

Класифікацію технічних систем раціонально розглядати на фоні ретроспективного (від лат. *retro-* назад) виникнення та розвитку знарядь праці, пов’язаних із заміною механічних та управлінських функцій людини.

Якщо за основу взяти структуру технічного об’єкта, то умовно можна виділити історично змінюванні один одного такі *класи технічних систем*:

- ❖ Найпростіші пристрої (палиці, камені, сокири, ножі та ін.).
- ❖ Механізми (важелі, блоки, колеса, похилі площини та ін.).
- ❖ Складні механічні пристрої та устаткування.
- ❖ Електромеханічні пристрої, обладнання та прилади.
- ❖ Машини (гідравлічні, теплові та електромеханічні перетворювачі енергії).
- ❖ Сукупність машин.
- ❖ Перетворювачі.
- ❖ Автоматизовані технічні системи.
- ❖ Великі технічні системи (ВТС) або системотехнічні комплекси (СТК).
- ❖ Автоматичні технічні системи.
- ❖ Автоматичні системи машин (\*).
- ❖ Інформаційно-кібернетичні системи (\*).
- ❖ Ергатичні системи, ергамати (\*).
- ❖ Інтелектуальні системи керування організаційно-технічними системами (\*).
- ❖ Ергатичні організми (\*).

Наведена класифікація технічних систем вимагає деяких пояснень.

Перші два класи технічних систем складаються із одного компонента – робочого органу, яким управляє людина, яка є одночасно джерелом енергії.

Наступні два класи систем структурно і функціонально відносно більш складні, але є пасивними, тобто позбавлені джерел і перетворювачів енергії.

Далі йдуть складні технічні, ергатичні, автоматичні й інтелектуальні системи, які мають власне енергетично-інформаційне забезпечення. Технічні системи, відмічені автором знаком (\*) можуть бути самоорганізуючі.

**Самоорганізуючі системи в техносфері** – це промислові та науково-дослідницькі вироби у вигляді систем автоматичного регулювання (САР) та систем з елементами штучного інтелекту, які поділяються в порядку удосконалення на такі типи [25; 109; 112; 176]:

1. *Навчальні системи* – системи, які отримують інформацію про невідомі характеристики процесу або навколишнього оточення в ході навчання, а отриманий досвід використовують в подальшому для оцінювання,

класифікації, прийняття рішень або керування так, що якість роботи системи покращується. Прикладом можуть бути системи розпізнавання образів.

2. **Самонавчальні системи** – системи, функції яких продукуються і вдосконалюються в процесі самонавчання. До них відносяться самонавчальні САР і САК, адаптивні роботи з елементами штучного інтелекту. Ці системи відрізняються від навчальних систем відсутністю зовнішнього коректування і додаткової інформації про достовірність реакції системи. Вони здатні до самонавчання, формуванню бази даних, бази знань і моделі зовнішнього середовища, до адаптації при розв'язанні інтелектуальних завдань, до ймовірнісної поведінки, до **рефлексії** (від лат. *reflexio* – звернення назад), тобто до **самооцінювання своїх дій**. Самонавчальні системи реалізують не тільки негативний, а й позитивний зворотний зв'язок. НЗЗ гасить флуктуації, нейтралізує небажані в системі та в зовнішньому середовищі збурення, повертаючи систему до стану динамічної рівноваги, а ПЗЗ – підсилює флуктуації до рівня дії кумулятивних ефектів, що спричиняє перехід системи до нерівноважного стану.
3. **Самоорганізуючі системи з елементами штучного інтелекту** – системи, які не тільки виробляють в процесі функціонування оптимальний алгоритм, але й вибирають стратегію навчання у відповідності зі закладеною в них цільовою функцією, що дозволяє їм приймати складні рішення, планувати дії тощо. Ці системи, зокрема, втілюються в адаптивних роботах з елементами штучного інтелекту.

Для функціонуючих технічних (виробничих) об'єктів **втрата стійкості усталеного режиму роботи** може бути пов'язана з такими факторами:

- інтенсифікація (переважанням ПЗЗ над НЗЗ);
- оптимізація (максимізація) виробничих процесів;
- швидке наростання самопідтримуваних коливань;
- перехід у нестійкий режим функціонування;
- керування без зворотного негативного зв'язку.

---

## 5.5. Закономірності розвитку технічних систем як носіїв якості та соціальних потреб

---

Циклічний розвиток техніки та її компонентів. Науково-технічний цикл. Технічний цикл. Життєвий цикл виробу. Крива розвитку технічної системи (ТС). Покоління техніки. Зміна поколінь техніки. Потреба – рушійна сила виробництва. Технічний рівень ТС. Принципи та закони розвитку технічних систем. Етапи створення нової ТС на підприємстві.

---

Очевидно, що створення, вдосконалення (розвиток) технічних систем відповідає потребам людини та є складовою науково-технічного прогресу.

**ДВ→** Дослідження, проведені Н.П. Гончаровою [43], показали, що спочатку **потреба** є дороговказом мети, до якої прагне виробництво. Нарешті, коли мета досягнута, потреба дорівнює обсягу виробництва. З цього моменту потреба із стимулюючого, прискорюваного чинника перетворюється в чинник, який уповільнює розвиток.

Перед виробництвом стоїть дилема: закінчувати виробництво даного виробу або модернізувати його, перейти на нову модифікацію, яка була б більш досконалою та кращою

попередника. У силу інерційності виробництва ці заходи неможливо здійснити відразу, слідом за зміною потреби.

“Відзначимо справедливість тези про те, що *потреба завжди випереджає виробництво, є його рушійною силою, стимулом до нарощування*. Повною мірою вона застосовна тільки в тому випадку, якщо мова йде про *споживчі якості виробу*, про виконання певних функцій або завдань. Якщо ж розглядати конкретний виріб, то зазначена теза справедлива лише в першій половині його циклу життя, де відбувається нарощування обсягів виробництва. Друга частина циклу життя характеризується згортанням виробництва, поступовим зниженням його обсягів і закінчується повним зняттям з виробництва даної моделі виробу..... Отримати цикли життя виробу, що збігаються з циклами потреби на кожному етапі виробництва – ідеальний варіант вирішення завдання довгострокового планування. Практично завдання це нереальне через інерційність виробництва. Неможливо у дуже короткі терміни перебудувати виробництво, змінити кількісні характеристики, споживчі властивості виробу” [43, с.57–58]. (курсив наш. – МК). ◀

Як нами раніше вказано, якість продукції визначається параметрами, які закладені в процесі проектування промислового виробу, що розглядається як технічна система (ТС). *Сукупність технічних властивостей, параметрів, які визначають цінність виробу визначає технічний рівень ТС*.

Очевидно, що системи одного технічного рівня прийнято розглядати *поколіннями техніки* [42]. НТП спричиняє до зростання основних параметрів технічних систем всередині певного покоління і між поколіннями. Наприклад, підвищення швидкості літаків різних поколінь (поршневі, турбогвинтові, турбореактивні, з реактивним двигуном, з електродвигуном) у межах стадії експлуатації, в основному обмежується потужністю двигуна, формою літака, його вантажопідйомністю, матеріалами конструкції, опором зовнішнього середовища. У цьому випадку еволюційна крива наближається до певної межі, що відповідає наступним вихідним положенням теорії.

У праці [108] автор, на основі аналізу чималої кількості літературних джерел виділив і проаналізував принципи, закони та закономірності структури, функціонування та розвитку технічних систем, а також запропонував своє бачення вказаного. Нижче викладений лише фрагмент вказаної праці, причому тут акцент ставиться на якість виробів, яка кореляційно залежить від їх технічного рівня та досконалості.

**ДВ→** Розвиток технічних систем та потреб людства на них підлягає певним принципам, закономірностям і законам.

Маємо на увазі, що *“принцип* (лат. *principium* – першооснова, основа) – вихідне, яке не потребує доказів, основне положення теорії (те ж саме, що аксіома або постулат)” [153, с. 346].

Під *“закономірністю”* розуміють “...відносно стійкі та регулярні взаємозв'язки між явищами й об'єктами реальності, що виявляються в процесах зміни і розвитку” [152, с. 38].

*“Закон* – необхідний зв'язок (взаємозв'язок, відношення) між подіями, явищами, а також між внутрішніми станами об'єктів, що визначає їх стійкість, виживання, розвиток, стагнацію або руйнування” [152, с. 34]. ◀

## **1. Закон циклічності**

*Закон циклічності* вказує, що *технічним системам властивий розвиток всередині рекурсивно вкладених циклів: Науково-технічний цикл ⇒ Технічний цикл ⇒ Життєвий цикл продукції (виробу)*.

У межах кожного з циклів відбувається зміни головних параметрів. Зокрема, в межах технічного циклу (покоління техніки) відбувається неперервний і

прогресивний характер зміни головних параметрів ТО. При переході на наступну стадію головні параметри змінюються якісним і кількісним стрибком.

Вказаний закон описує одну із закономірностей розвитку техніки, що розкривається в **циклічному розвитку техніки** та її складових компонентів.

**ДВ**→ Після відкриття К. Марксом закону циклічного механізму розвитку виробництва, в ХХ ст. дослідники екстраполювали цей закон на такі поняття, як [108; 221; 222]:

- ❖ “ ” (НТЦ) – *період між народженням нової науково-технічної ідеї, її матеріалізацією у новому поколінні або напрямку техніки та часом, кола ця техніка, вичерпавши свій потенціал, замінюється на виробництві і споживанні новою, більш ефективною, що реалізує наукові ідеї більш високо рівня. НТЦ переважно реалізується в **новому напрямі техніки (ННТ)**, який пов'язаний з технічним революційним переворотом, в основі якого лежить велике наукове відкриття. ННТ в середньому через 60-80 років замінюється іншим напрямом. Наприклад, теплові електричні станції (ТЕС) замінюються на атомні електричні станції (АЕС). Проте належить зазначити, що початок ХХІ ст. характеризується кризисною фазою циклічного розвитку національної електроенергетики, технологічний уклад якого встановлений ще в 50-х рр., тому повністю вичерпав свої можливості. Ця фаза циклу розвитку визначається переважанням енергетичного й електротехнічного обладнання, яке відпрацювало нормативний ресурс і фізично та морально застаріло, зокрема це стосується 70 % енергоблоків теплових електростанцій.*
- ❖ “**Технічний цикл**” – *період часу від одного стрибка в розвитку покоління техніки до другого, який включає ряд різних за своїм характером послідовних фаз: 1) освоєння **нового покоління техніки (НПТ)**, заснованого на відкритті або великому винаході ⇒ 2) обсяг виробництва виробів стрибкоподібно зростає, розширюються сфери застосування виробів ⇒ 3) фаза насичення, за якого відносно повільно зростання і якісне поліпшення даного покоління техніки (з'являються нові моделі техніки на випробуваному технологічному принципі, розширюються параметричні ряди машин) ⇒ 4) вичерпання технічного й економічного потенціалу даної технічної ідеї (теорії, наукового напрямку), витіснення цього покоління техніки новою, більш прогресивною й ефективною технікою. НПТ – це система машин (приладів, обладнання і т. ін.), які реалізують єдину науково-технічну ідею і відрізняються загальністю функціональних властивостей, конструктивних і технологічних ознак. Технічний цикл відноситься до типів техніки і середня періодичність зміни поколінь техніки у сучасних умовах становить 8-10 років, хоча вона суттєво відрізняється для різних напрямів і типів техніки. Наприклад, в гірничій, металургійній та хімічній промисловості періодичність зміни становить 12-14 років, а в радіоелектронній промисловості – 3-6 років.*
- ❖ “**Життєвий цикл продукції (виробу)**” – *це стадії процесу, що охоплюють різні послідовні стани еволюції конкретної технічної системи.*  
Життєвий цикл продукції (виробу) має такі послідовні стадії:
  - 1) дослідження та обґрунтування розробки;
  - 2) розроблення (проектування) продукції (виробу);
  - 3) стадія підготовки виробництва продукції;
  - 4) масове чи серійне виробництво продукції;
  - 5) реалізація (обіг) продукції;
  - 6) експлуатація (споживання) виробу [складається з низки етапів, серед яких є власне експлуатація (застосування), обслуговування, ремонт, відновлення];
  - 7) повне виведення з експлуатації;
  - 8) утилізація продукції (використання як вторинної сировини продукції, що втратила свої корисні властивості).

Циклічний розвиток техніки переконливо вбачається на прикладі поколінь електронно-обчислювальних машин (ЕОМ), які базувалися на певній елементній базі та функціонували на визначеному науково-технічному принципі (табл. 5. 2). Більш докладніше, див. [202]. ◀

На рис. 5.5 зображені три покоління одного типу технічних об'єктів, максимальний обсяг промислового виробництва яких умовно прийнято однаковим. Графік технічного циклу техніки 1-го покоління має позначення чотирьох фаз, сенс яких розкритий був вище. Можна лише додати, що вказаний графік розвитку об'єктів одного технічного рівня (покоління) є **кривою розвитку технічної системи**, яка аналогічна розвитку біологічних систем, фази якої відповідають такій послідовності: *початковий розвиток*  $\Rightarrow$  *зростання*  $\Rightarrow$  *зрілість*  $\Rightarrow$  *“в'янення” (відмирання)*.

Таблиця 5. 2

Покоління ЕОМ			
Покоління ЕОМ	Роки	Елементна база	Продуктивність
Перше	1945-1955	Електронні лампи	10-20 тис. оп. /с
Друге	1955-1965	Транзистори	100 тис. оп. /с
Третє	1965-1975	Інтегральні схеми	1 млн. оп. /с
Четверте	1975-1985	Великі інтегральні схеми (ВІС), мікропроцесори	10 – 100 млн. оп. /с
П'яте	1985-1995	Надвелика інтегральна схема (НІС): від 10 тис. до 10 млн. елементів на кристал. Надскладні мікропроцесори з паралельно-векторною структурою	100 млн. – 1 млрд. LIPS, де LIPS – це логічний висновок в секунду
Шосте	1995-.....	Електронні та оптоелектронні комп'ютери з масовим паралелізмом, нейронною структурою, з розподіленою мережею в десятки тисяч мікропроцесорів Pentium Pro, що моделюють архітектуру нейронних біологічних систем	Більше 1 млрд. LIPS

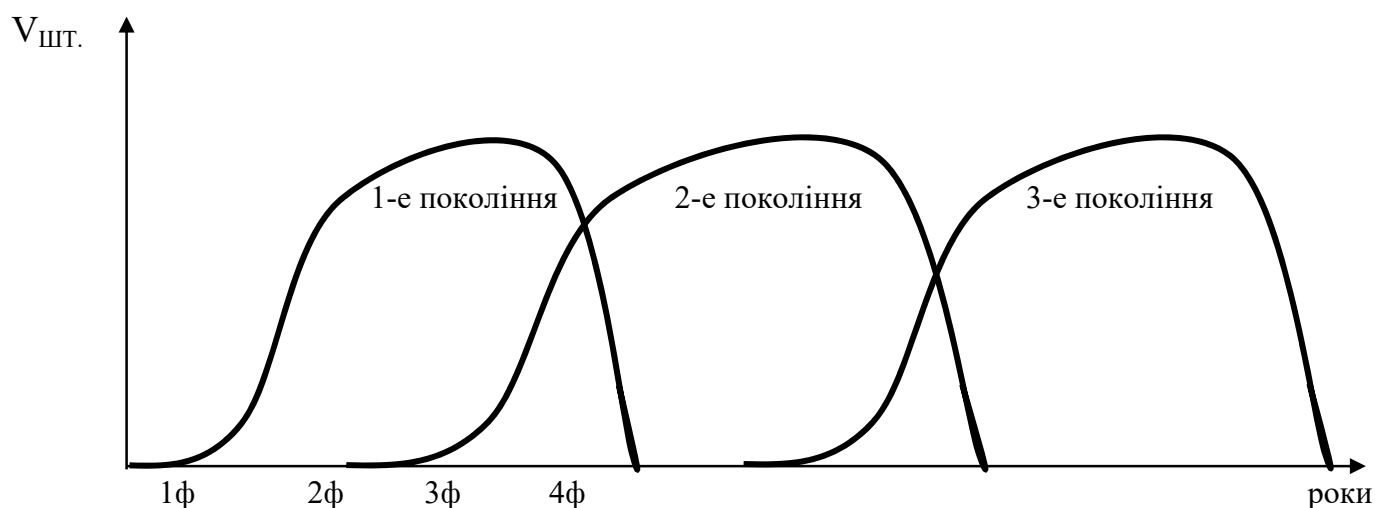


Рис. 5.5. Послідовність зміни поколінь техніки

**ДВ**  $\rightarrow$  Зазначимо, що технічний цикл розвитку покоління техніки має загальну закономірність періоду від зрілості до в'янення. Вона проявляється в уповільненні зростання коефіцієнта корисної дії (ККД,  $\eta$ ) і наближення його до теоретичної (ідеальної) межі. Це служить ознакою необхідності переходу до принципово нових ТС, що створюються на основі законів природи та техніки. На відміну від живих організмів, ТС починають відмирати в момент свого



найвищого розквіту. Наприклад, в середині ХХ ст. тепловоз ( $\eta = 30\%$ ) замінив паровоз ( $\eta = 8\%$ ), а нині повсюдно переходять на електровози ( $\eta = 90\%$ ). ◀

## 2. Принцип обмеження розвитку

**Принцип обмеження розвитку:** розвиток головних параметрів ТС в межах однієї стадії описується S-функцією, зростання якої по осі ординат обмежений межею, який регламентує теоретичні можливості методу, що реалізується та покладеного в основу створення цієї ТС.

Очевидно, що нові матеріали, прогресивне технологічне обладнання, нові технічні рішення та методи виготовлення покращують властивості існуючих виробів і є основою створення якісно нових виробів (наприклад, смартфонів, які відрізняються від звичайних мобільних телефонів наявністю досить розвиненої операційної системи). Разом з тим, **крива попиту** на нові вироби відтворює криву розвитку, та має такі послідовні фази:

**Фази кривої попиту на нові вироби: виникнення  $\Rightarrow$  зростання (завоювання сфер споживання)  $\Rightarrow$  уповільнення розвитку  $\Rightarrow$  насичення (стабілізація)  $\Rightarrow$  спад і згасання**

**ДВ**  $\rightarrow$  Прискорення науково-технічного прогресу спричинило з одного боку тенденцію скорочення тривалості використання виробів, а з другого боку – зменшення тривалості періоду створення (від задуму до готового виробу): фотоапарат – 112 років (1727-1839), радіо – 35 років (1867-1902), радар – 15 років (1925-1940), телевізор – 12 років (1922-1934), атомна бомба – 6 років (1939-1945), транзистор – 5 років (1948-1953) [42].

Особливістю циклічного розвитку покоління однотипних технічних об'єктів полягає в тому, що нове покоління починає освоюватися, коли попереднє покоління знаходиться ще в 3-й фазі розвитку. В іншому випадку не може бути забезпечена безперервність технічного прогресу в аспекті заміни застарілої техніки. ◀

## 3. Закон циклічного розвитку потреб

К. Маркс відкрив і сформулював в “Капіталі” закон, відповідно до якого “...потреби, що розвиваються разом із засобами їх задоволення і в безпосередній залежності від розвитку цих останніх” [130, с. 520].

Самі ж **потреби**, являючи собою мету розвитку виробництва, мають циклічний характер і складаються з розглянутих вище послідовних фаз: виникнення, завоювання сфер споживання, стабілізація, спад і згасання.

## 4. Закон нерівномірності розвитку

**Закон нерівномірності розвитку:** в межах однієї стадії розвитку, технічна система та її складові частини розвиваються нерівномірно. Ілюстрацією є точка перегину S-функції, при переході через яку прискорений розвиток змінюється на уповільнений. Чим складніша система, тим більша нерівномірність розвитку частин її S-функції.

**ДВ**  $\rightarrow$  Вчені-біологи відкрили S-подібні закони розвитку біологічних систем, які задаються функціями Р. Перла і Б. Гомперца. Зокрема, крива Р. Перла симетрична відносно точки



перегину  $t_0$ :

$$y = L / \left( 1 + a \cdot e^{-bt} \right), \quad (5.15)$$

де  $L$ ,  $a$ ,  $b$  – константи,  $t$  – час,  $y$  – головний параметр.

Крива Перла симетрична відносно точки перегину  $K$  (тобто точки з абсцисою  $t = t_0$ ), в якій друга похідна від функції  $y = f(t)$  дорівнює нулю, а саме  $f''(t_0) = 0$ . Проте, функція Перла мало придатна для апроксимації реальних закономірностей в ТС через симетричність форми кривої, неможливості розтягнути її по осях абсцис або ординат, тому що вона має всього три постійних коефіцієнти (рис. 5.6). Зазначимо, що термін “апроксимація” (лат. *approximare* – наближатися) – наближене вираження будь-яких величин через інші, більш відомі або більш прості величини.

Функція Б. Гомперца дещо розширює можливості апроксимації статистичних даних процесів розвитку ТС завдяки тому, що відповідна крива асиметрична щодо точки перегину  $K$  ( $t = t_0$ ). Однак ця функція залишається такою ж “жорсткою” щодо осей координат, як і функція Перла (рис. 5.6):

$$y = L \cdot e^{-b} \cdot e^{-kt} \quad (5.16)$$

А.Ф. Каменев [93] на основі ретроспективного причинно-наслідкового аналізу зміни статистичних даних за головними параметрами ТС отримав аналітичну модель функції розвитку у вигляді:

$$y = L / \left( a + e^{b \cdot e^{-\beta t}} \right), \quad (5.17)$$

де  $L$ ,  $a$ ,  $b$ ,  $\beta$  – константи,  $t$  – час,  $y$  – головний параметр.

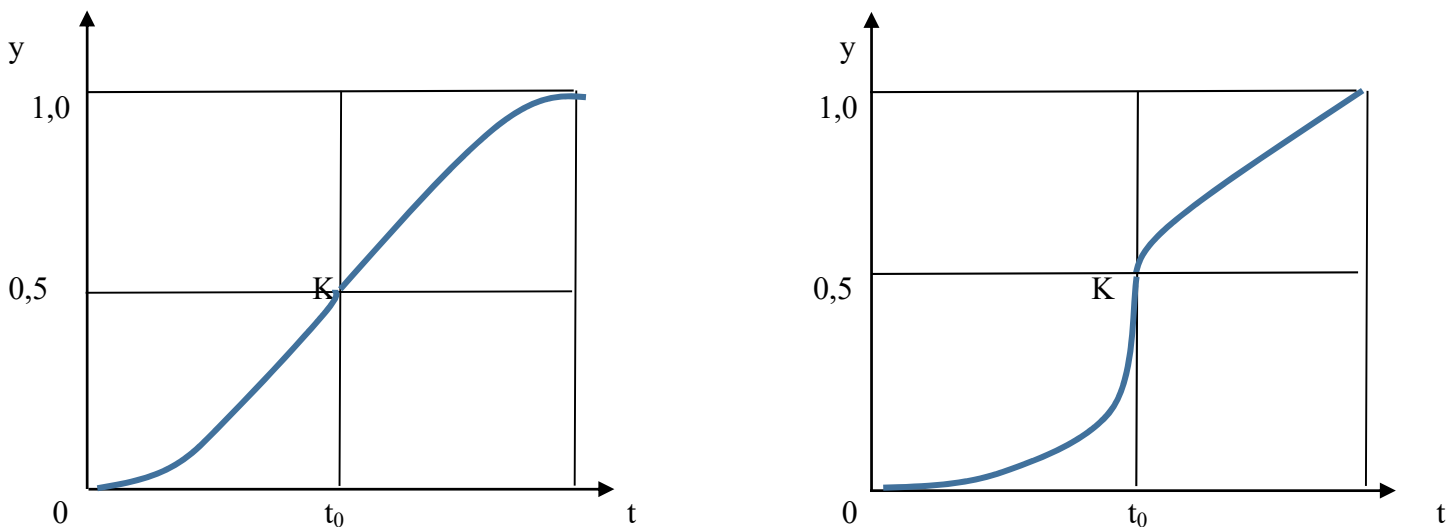


Рис. 5.6. Функції розвитку: крива Перла (зліва) та крива Гомперца (справа)

Модель Каменева з достатньою гнучкістю апроксимує статистичні дані за головним параметром ТС, а нерівномірність зростання головного параметра пояснює так:

- на ділянці висхідної фази превалює вплив прогресивних факторів (послідовне впровадження низки винаходів, мета яких не тільки збільшити головні параметри ТС, але й змінити функції системи);

- на ділянці загасаючої фази превалюють регресивні фактори, які знижують ефективність створюваних систем, аж до виродження ТС, яка реалізує певну технічну ідею. Це означає, що зростання головного параметра обмежений межею, до якого асимптотично наближається S-подібна крива. Ця межа регламентує теоретичні можливості технічного принципу, на якому ґрунтується виконання ТС. ◀

## 5. Принцип багатостадійності

**Принцип багатостадійності:** розвитку ТС властива багатостадійність зміни будь-яких технічних параметрів. Цей принцип доповнює та конкретизує закон багатостадійності.

**ДВ→** Безперервний прогресивний характер змін головних параметрів у межах однієї стадії змінюється якісним стрибком при переході на наступну стадію. Цей стрибок є результатом впровадження нового технічного рішення (ТР) або принципу дії, а це означає використання якісно нових фізичних явищ, фізико-технічних ефектів, видів енергії, конструктивних матеріалів і т. ін. У залежності від глибини та масштабності внаслідок стрибка може відбуватися зміна поколінь техніки певного класу або виникнення ННТ. Може відбутися перехід на новий науково-технічний рівень (цикл, стадію).

Таким чином, якісний розвиток виробів в техніці відбувається стрибками, тобто розвитку притаманно багатостадійність (рис. 5.7). Усередині кожної стадії відбувається еволюційний процес розвитку зі зміною головних параметрів за S-подібною кривою. Головні параметри переважно є кваліметричні, структурні та функціональні.

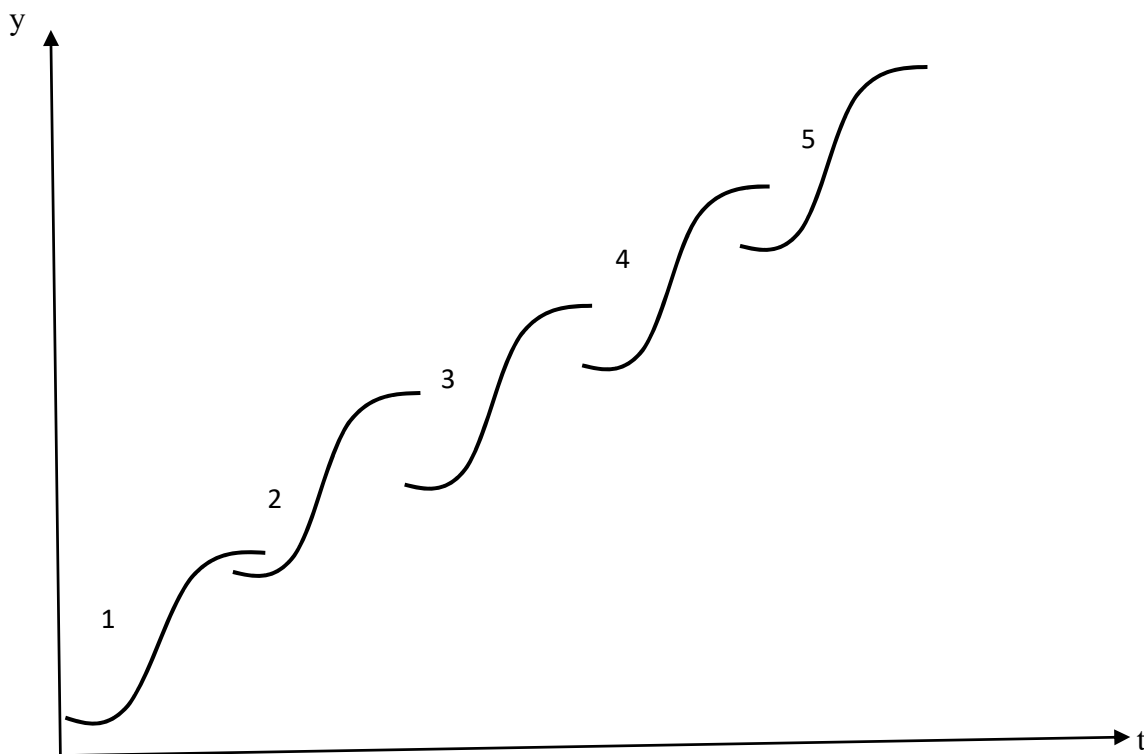


Рис. 5.7. Стадійність розвитку літаків, як перехід з одного покоління в інше (поршневі ⇒ турбогвинтові ⇒ турбореактивні ⇒ з реактивним двигуном ⇒ з електродвигуном)

## 6. Закон єдності дивергування і конвергування

**Закон єдності дивергування і конвергування:** на початку життєвого циклу виробу здійснюється процес дивергування (зростання різноманітності функцій ТС), а на наступних стадіях – конвергування (скорочення різноманітності функцій, стабілізація розвитку через еволюцію, яка реалізується через процеси стандартизації, уніфікації, типізації, симпліфікації, сертифікації).

## **7. Закон прогресивного розвитку техніки**

**Закон прогресивного розвитку техніки І. Мюллера:** в об'єктах техніки з однаковим призначенням (функцією) перехід від покоління до покоління викликається усуненням виявленого на даний момент головного дефекту (дефектів), пов'язаного, як правило, з оптимізацією одного або декількох істотних параметрів (поліпшенням критеріїв розвитку).

**ДВ→** Цей закон відбувається при наявності необхідного науково-технічного потенціалу та соціально-економічної доцільності таким найбільш імовірними шляхами послідовного вдосконалення конструкції:

1. При незмінному фізичному принципі дії (ФПД) поліпшуються параметри ТС до наближення до глобального екстремуму за значеннями параметрів (циклічна, одностадійна еволюція ТС, описувана S-функцією).
2. Після вичерпання можливостей циклу відбувається перехід до більш раціонального технічного рішення (структури, конструкції), після чого еволюція йде по 1-му циклу. Умови 1 та 2 повторюються до наближення до глобального екстремуму за структурою для даного принципу дії (функціонування).
3. Після виконання умови 2 відбувається перехід до більш раціонального ФПД, після чого розвиток йде за 1 – 3 умовами і повторюється до наближення до глобального екстремуму за принципом дії для безлічі відомих фізичних ефектів.

Таким чином, стрибки в розвитку ТС виникають при переході до нового технічного рішення або ФПД при вичерпанні можливостей попереднього технічного рішення або ФПД. Проте за допомогою САПР можна отримати проекти нових ТС без вичерпання можливостей попередніх. ◀

## **8. Закон спадкоємності, або філотехногенетичної спіралі розвитку**

**Закон спадкоємності (спадкового зв'язку), або філотехногенетичної спіралі розвитку:** складна ТС відтворює в своїй структурі передісторію свого розвитку (філогенез – від грец. *φύλον* – рід і *γενετικός* – походження).

**ДВ→** Закон спадкоємності можна інтерпретувати таким чином: кожне нове покоління ТС певного класу відтворює в своїй структурі (програмі) сукупність інваріантних функцій, що реалізувалися системами попередніх поколінь (прототипами) та є адекватні властивостям надсистеми і функціональним властивостям людини, яка використовує ТС або взаємодіє з ними. На відміну від класичної спіралі розвитку, яка зображена на рис. 5.8, спіраль розвитку ТС має витки, які означають еволюційні стадії розвитку, що відокремлені один від одного стрілками, що зв'язують їх. Ці стрілки фіксують революційні зрушення, скачки, момент переривчастості, перерив безперервного існування даного якості, результат переходу кількісних змін у якісні. "Стрибок" відображає розв'язання суперечності, ліквідацію даної суперечливої єдності та виникнення *нової якості* в рамках нової цілісності. ◀

## **9. Закон збільшення ступеня ідеальності систем**

**Закон збільшення ступеня ідеальності систем:** розвиток всіх технічних систем відбувається в напрямі збільшення ступеня ідеальності.

Цей закон відображає суперечність між прагненням створити ідеальну конструкцію з розрахунковими теоретичними параметрами і неможливістю повної реалізації її.

Наприклад, теоретичний ККД паливного водневого елемента 95%, а ефективний (практичний) – 70 %. Наслідок: *ідеальна якість* промислового виробу недосяжна. Можна досягнути тільки *оптимального рівня досконалості* за умови

прогресивного розвитку структури, функцій, властивостей і якості виробів. Асимптотичною межею розвитку складних ТС є біологічні системи.

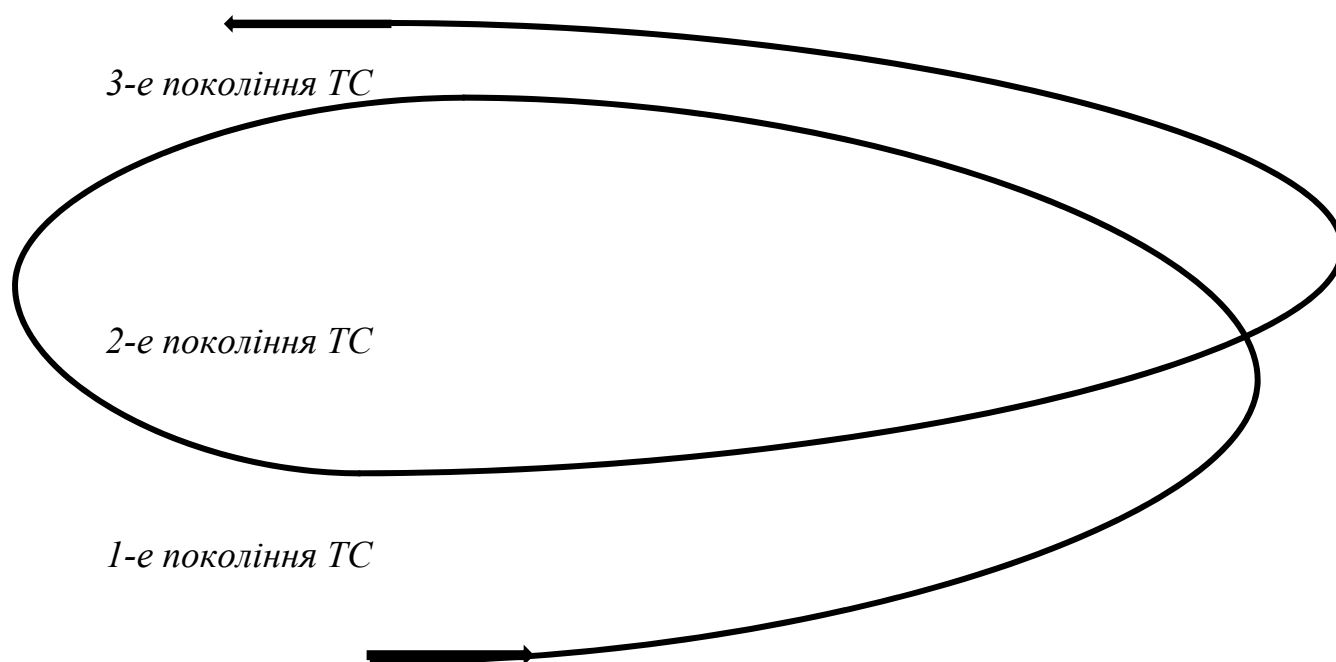


Рис. 5.8. Спіралеподібний характер розвитку технічних систем

**ДВ**→ Наслідком останньої тези є **біонічний принцип**, який передбачає запозичення ідей зі світу навколишньої природи, сформульованих біонікою, при проектуванні нових ТС. Слід підкреслити, що біоніка не передбачає сліпого копіювання форм, структури та поведінки об'єктів природи, а спрямована на глибокий логічний аналіз принципів структурно-функціональної організації та розвитку живих систем із метою використання їх законів і принципів. Зокрема, щільність упаковки елементів у біочіпі (визначається за формулою  $K = \lg N$ , де  $N$  – число елементів) становить не менше  $1 \cdot 10^{18}$  1/чіп, а затрати енергії на отримання 1 біта інформації в біочіпах наближається до межі Бріллюена  $kT \ln 2 \approx 2,9 \cdot 10^{-21}$  Дж / біт, що в  $10^8$  раз менше, ніж у сучасних ЕОМ [27]. Сучасний електронний чіп (надвелика інтегральна схема, тобто програмований модуль, який має власну пам'ять і логіку) складається з максимум 5 млрд транзисторів, тобто має ступінь інтеграції  $5 \cdot 10^9$  1/чіп, а це в  $2 \cdot 10^8$  менше, ніж число елементів у біочіпі.

Тепловий розігрів чіпа, радіаційні ефекти, пробій р-п переходу, технологічні обмеження, пов'язані з розсіюванням електронного променя на резисторі та на напівпровіднику не дозволяють нині отримати лінійні розміри транзистора менше 0,1мкм (100нм). Це фундаментальний фізичний бар'єр, менше якого (10-100) нм – це область квантової наноелектроніки. І, нарешті, перехід на діапазон від 10 до 1 нм належить молекулярній електроніці та біоніці, які повинні кардинально перетворити техно- та ноосферу ХХІ століття. ◀

### **10. Закон підвищення цілісності**

**Закон підвищення цілісності:** в процесі розвитку технічних систем за послідовними стадіями (від одного покоління до іншого) підвищується речовинно-енергетична й інформаційна цілісність технічних систем, що проявляється в функціональному та структурному відношеннях.

Реалізується діалектичне заперечення старого якісного стану новим. У ході заперечення утримується все позитивне, що було в технічному об'єкті попереднього покоління, разом з тим створюються нові елементи, зв'язки, ланки. Необхідність переходу до нового покоління техніки диктується не тільки суспільними запитами і ходом НТП, а зв'язаний зі зношуванням технічного об'єкта при його експлуатації.

### **11. Закон фізичного і морального зношування**

*Закон фізичного і морального зношування: в межах одного життєвого циклу виникають і посилюються ентропійні процеси зниження якості технічного об'єкта, а також проявляється невідповідність даного виду технічної системи зростаючим суспільним потребам.*

Невідповідність досліджується статистичними методами та має форму наведеного вище закону.

### **12. Закон розширення множини потреб-функцій**

*Закон розширення множини потреб-функцій: число кількісно і якісно розрізнявальних потреб-функцій, які відносяться до техносфери країни або світу, зростає з плином часу за експоненціальним законом:*

$$N = N_0 \cdot e^{\alpha t}, \quad (5.18)$$

де  $N_0$  – потреби в початковий момент часу ( $t = 0$ );  $\alpha$  – коефіцієнт ( $\alpha > 1$ ).

І, нарешті, коротко розглянемо етапи створення та просування товарів на ринок.

**ДВ→Процес створення виробу (нової технічної системи)** на підприємстві (фірмі) можна розбити на ряд обов'язкових *етапів* [73]:

*Перший етап* – пошук нових ідей. Нові ідеї отримують за рахунок внутрішніх джерел (від працівників даного підприємства) і від зовнішніх джерел (від консультантів, експертів, патентознавців, науковців і т. д.).

*Другий етап* – відбір ідей, що полягає у відсіванні ідей, які явно не відповідають цілям і можливостям підприємства. Цю роботу виконують керівники підприємства, оскільки тільки вони мають найбільш повне уявлення про цілі, завдання та можливості підприємства нині і в майбутньому.

*Третій етап* – аналіз можливостей виробництва і збуту майбутньої ТС. Перехід від ідеї до конкретних рекомендацій, включаючи розробку початкової програми створення ТС. Програма передбачає перевірку створюваної ТС на конкурентоздатність, можливість збуту, визначення потреб виробництва в матеріалах й обладнанні, необхідних для створення нової ТС, фінансових витрат.

*Четвертий етап* – розробка виробу. Проектування (конструювання) та перевірка на всіх етапах: від ідеї до готової продукції. Точне визначення розмірів, форми, маси матеріалів, робочих характеристик ТС (виробу). Готується дослідна продукція: виготовлення невеликої частини програми випуску готової продукції, випробування виготовленого виробу та виробничого обладнання. Перевірка кваліфікації персоналу.

*П'ятий етап* – перевірка стану ринку. На ринок поставляється дослідна партія нових виробів (продукції) і вивчається реакція покупців, визначається попит, конкурентоспроможність, коло покупців.

*Шостий етап* – організація масового виробництва продукції. Складається остаточна програма випуску. Репутація фірми з цього етапу залежить від збуту нової виробничої продукції. ◀

## Контрольні запитання

№ з/п	Контрольні запитання	№ з/п	Контрольні запитання
1.	Що таке синергетика ?	42.	Що таке техносфера ?
2.	Історія виникнення синергетики.	43.	Що таке продукт ?
3.	Суть самоорганізованих (синергетичних) систем (SS).	44.	Що таке продукція ?
4.	Назвати умови самоорганізації складних систем.	45.	Що таке якість продукції?
5.	Принципи синергетики: а) принципи буття.	46.	Що таке типи продукції ?
6.	Принципи синергетики: б) принципи становлення.	47.	Продукція як носій якості.
7.	Назвати фундаментальні властивості самоорганізованих систем.	48.	Що таке готова продукція ?
8.	Когерентності в SS.	49.	Що таке сировина ?
9.	Кооперативна поведінка в SS	50.	Що таке матеріали ?
10.	Нерівноважність як джерело порядку.	51.	Що таке виконані роботи та послуги ?
11.	Приклади самоорганізації.	52.	Що таке артефакт ?
12.	Що таке фрактали ?	53.	Види артефактів.
13.	Які аналоги мають фрактали в природі ?	54.	Яке співвідношення артефактів і творинь природи ?
14.	Співвідношення Больцмана.	55.	Означення техніки.
15.	Критерій еволюції Гленсдорфа-Пригожина.	56.	Класи ТС.
16.	Дати означення аттрактора.	57.	Самоорганізуючі системи в техносфері: суть.
17.	У чому суть аттрактора ?	58.	Самоорганізуючі системи в техносфері: типи.
18.	Яка роль негативного зворотного зв'язку у процесах самоорганізації ?	59.	Чому існує циклічний розвиток техніки та її компонентів ?
19.	Яка роль позитивного зворотного зв'язку у процесах самоорганізації ?	60.	Що таке науково-технічний цикл ?
20.	Що таке дивергенція ?	61.	Що таке технічний цикл ?
21.	Що таке конвергенція ?	62.	Що таке життєвий цикл виробу ?
22.	Описати моделі розвитку синергетичних систем.	63.	Аналіз кривої розвитку технічної системи (ТС).
23.	Пояснити суть дивергентного етапу розвитку SS.	64.	Що таке покоління техніки ?
24.	Пояснити суть конвергентного етапу розвитку SS.	65.	Яка причина зміни поколінь техніки ?
25.	Що таке детермінізм Лапласа ?	66.	Потреба – рушійна сила виробництва.
26.	Сутність ергодичної теорії.	67.	Що таке технічний рівень ТС ?
27.	Яка відміна SS від механічних динамічних ансамблів.	68.	Охарактеризувати закон розвитку ТС: циклічності.
28.	Що таке NBIC-конвергенція ?	69.	Охарактеризувати принцип розвитку ТС: обмеження розвитку.
29.	Навести приклади негативного синергетичного ефекту.	70.	Охарактеризувати принцип розвитку ТС: циклічного розвитку потреб.
30.	Навести приклади позитивного синергетичного ефекту.	71.	Охарактеризувати закон розвитку ТС: нерівномірності розвитку.
31.	Що таке управлінський синергетизм ?	72.	Охарактеризувати принцип розвитку ТС: багатостадійності.

32.	Що таке гнучкі організації ?	73.	Охарактеризувати принцип розвитку ТС: єдності дивергування і конвергування.
33.	Еволюційний етап розвитку організаційних систем.	74.	Охарактеризувати принцип розвитку ТС: прогресивного розвитку.
34.	Біфуркаційний етап розвитку організаційних систем.	75.	Охарактеризувати принцип розвитку ТС: спадкоємності.
35.	Управління на еволюційному етапі розвитку SS.	76.	Охарактеризувати принцип розвитку ТС: збільшення ступеня ідеальності.
36.	Управління на біфуркаційному етапі розвитку SS.	77.	Охарактеризувати принцип розвитку ТС: підвищення цілісності.
37.	Принцип Рене Тома.	78.	Охарактеризувати принцип розвитку ТС: фізичного і морального зношування.
38.	У чому проявляються невизначеності організаційних систем ?	79.	Охарактеризувати принцип розвитку ТС: розширення множини потреб-функцій.
39.	Аналіз процесів навчання.	80.	Охарактеризувати етапи створення виробу на підприємстві.
40.	Аналіз процесів самонавчання.	81.	Охарактеризувати етапи просування виробу (товару) на ринку.
41.	Що таке соціосфера ?	82.	Від чого більше всього залежить репутація фірми ?



---

## Розділ 6. КОНЦЕПЦІЇ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ

---



“ Якщо теорія все пояснює - вона нікуди не годиться”

Григорій Ландау

---

### 6.1. Розвиток менеджменту як фон розвитку концепцій управління якістю

---

Огляд історичного розвитку шкіл управління: школа наукового управління; класична (адміністративна) школа управління; школа людських відносин; школа поведінкових наук; школа економіко-математичного (кількісного) підходу;

**Концепція** (від лат. *conceptio* – розуміння) – система поглядів, те або інше розуміння об’єктів предметної галузі (предметів, явищ, процесів тощо). Іншими словами, концепція є головний задум, конструктивний принцип дослідження. На відміну від **теорії** концепція характеризується незавершеністю (в сенсі цілісності) та недостатньою **верифікацією** (від лат. *verus* – істинний, *facio* – роблю) – вербальний доказ або математичне доведення того, що вірогідний факт або твердження є істинним.

Розвиток концепцій якості відбувається на фоні розвитку менеджменту. В історії розвитку менеджменту можна виділити п’ять основних **наукових шкіл** [158], в основі яких була покладена певна концепція. Можна виділити такі наукові школи:

- 1) школа наукового управління (1885-1920);
- 2) класична (адміністративна) школа управління (1920-1950);
- 3) школа людських відносин (1930-1950);
- 4) школа поведінкових наук (1950-дотепер);
- 5) школа кількісного (економіко-математичного) підходу (середина ХХ ст. – дотепер).

Розглянемо вкрай стисло сутність названих шкіл управління, їх основні принципи та особливості [134; 158]:

#### **1. Школа наукового управління**

Засновником школи був американський інженер Фредерік Уїнслоу Тейлор (1856-1915), який у своїй праці “Принципи наукового управління” вперше переніс акцент з ролі організатора виробництва до виробничого процесу як системи.

Ф. Тейлор стверджував, що головним завданням управління фірмою має бути забезпечення максимального прибутку для підприємця в поєднанні з максимальним добробутом для кожного зайнятого у фірмі працівника. Він розробив наукові засади нормування праці, планування операцій виробництва, запропонував розподіл праці за видами робіт, методи підбору, розстановки і стимулювання працівників фірми, виокремлення роботи з управління в спеціальність.



Ф. Тейлор у своїй праці “The Principles of Scientific Management” (1911 р.) сформулював чотири “великі основоположні принципи управління”:

1. Заміна застарілих методів, заснованих тільки на практичному досвіді, новими, пов'язаними з результатами наукових досліджень кожного окремого виду трудової діяльності.
2. Підбір робітників і менеджерів на основі наукових критеріїв і їх професійне навчання.
3. Співпраця адміністрації з робітниками в справі практичного впровадження наукової організації праці (НОП).
4. Справедливий розподіл відповідальності між робітниками і менеджерами.

## **2. Класична (адміністративна) школа управління**

Представниками цієї школи були Г. Емерсон (1852-1931), А. Файоль (1841-1925), Г.Форд (1863-1947), А.К. Гастев (1882-1941) та ін.

Г. Емерсон стверджував, що управління повинно обслуговувати виробництво, а продуктивність праці та якість виробів залежать насамперед від умінь робітників і часу виконання роботи. Г. Емерсону належать 12 знаменитих **принципів підвищення продуктивності праці**:

1. Чітко поставлені цілі діяльності.
2. Здоровий глузд (здатність аналізувати організацію виробництва).
3. Компетентна консультація від фахівців, професіоналів.
4. Виробнича дисципліна.
5. Справедливе ставлення до персоналу (“*Краще працюєш – краще живеш*”).
6. Наявність швидкого, надійного, повного, точного і постійного обліку (зворотного зв'язку).
7. Диспетчеризація, яка “дозволяє слова плану перетворювати в реальні справи виробництва”.
8. Норми і розклад (робітник повинен працювати не на межах своїх можливостей, уникати невинуватих витрат праці, матеріалів і енергії, а кінцевий результат повинен відповідати запланованим нормам, щоб мінімізувати брак продукції).
9. Нормалізація умов праці, при яких можливості працівника будуть розкриватися найкращим чином.
10. Нормування операцій (стандартизація способів виконання операцій та регламентування часу на кожен із цих способів).
11. Використання стандартних інструкцій виробничих дій.
12. Винагорода робітникам за продуктивність.

Анрі Файоль створив концепцію “*Наука адміністрування*”. Головну увагу Файоль приділяв управлінню персоналом, насамперед – адміністративним кадрам.

А. Файолю належить розробка ряду принципів адміністративного управління, які, на його думку, є універсальними для будь-якої організації. Ці принципи не втратили свого значення і в наш час.

Коротко сформулюємо універсальні **принципи управління підприємством**  
А. Файоля:

- ❖ **Розподіл праці при спеціалізації.** Метою розподілу праці є виконання роботи, більшою за обсягом і кращою за якістю, за тих же умов. Відомо, що зв'язаний зі

спеціалізацією розподіл праці має свої межі, за якими іде втрата ефективності.

- ❖ **Повноваження і відповідальність.** Повноваження – право віддавати наказ, а відповідальність – його складова протилежність. Де даються повноваження, там виникає відповідальність. Доцільні такі протилежні формулювання: “Одержав права – неси відповідальність” і “Наклали відповідальність – дайте права”.
- ❖ **Єдиноначальність.** Працівник повинен одержувати наказ (розпорядження) тільки від одного безпосереднього керівника (начальника, директора, ректора тощо).
- ❖ **Єдність напрямку.** Це принцип цільового управління: “Один керівник і єдиний план для сукупності операцій, які мають спільну мету”.
- ❖ **Підпорядкованість особистих інтересів загальним.** Це означає, що інтереси робітника або групи робітників не повинні превалювати над інтересами організації. Якщо інтереси розходяться, то керівник повинен їх примирити.
- ❖ **Централізація.** Нова думка тут в чому, що централізація має розумну міру. В загальному випадку чим більше підприємство, тим менше повинно бути централізації.
- ❖ **Ієрархія, або скалярний ланцюг.** Мається на увазі певна сукупність (ланцюжок) керівників різних рівнів (сходинок), від особи, що займає найвище положення в цьому ланцюжку, до керівника низової ланки. Тут проводиться актуальна сьогодні думка про необхідність мінімальних ієрархічних сходинок, а також про користь горизонтальних зв'язків в системі управління.
- ❖ **Порядок.** Файоль ділить порядок на “матеріальний” – порядок речей і “соціальний” – порядок людей. Стосовно речей порядок означає: “Всьому своє місце, і все на своєму місці”; стосовно людей: “Кожному своє місце, і кожен на його місці”. Мова йде про необхідність точних знань виробництва і про робітників з можливостями та потребами.
- ❖ **Стабільність персоналу.** Стабільність персоналу – вірна ознака доброго керівництва. Файоль розглядає плинність кадрів як причину і одночасно як наслідок поганого керівництва. Великий потік кадрів знижує ефективність організації.
- ❖ **Корпоративний дух.** Мова йде про важливість колективізму в роботі підприємства. Союз – це сила, яка є результатом гармонії персоналу. Повинні бути спільні інтереси у працюючих на виробництві людей. Тому принцип “розділяй і володій” при управлінні виробництвом застосувати не можна.
- ❖ **Дисципліна.** Тут головна ідея в тому, що дисципліна обов'язкова для всіх. Але оскільки керівництво завжди йде зверху вниз, то можна сказати, що дисципліна така, який керівник. Тому правильно те, що дисципліна припускає справедливо вживані санкції. Одним із головних завдань керівників є досягнення в організації виконання досягнутих угод між організацією та її працівниками.
- ❖ **Заохочення персоналу.** Файоль вважає, що справедлива зарплата за роботу повинна заохочувати як працівників, так і роботодавців.

- ❖ **Справедливість.** Вона забезпечується лояльністю та відданістю персоналу – з одного боку, добротою й об'єктивністю адміністраторів – з іншого.
- ❖ **Ініціатива.** Ініціатива означає розробку плану і його успішну реалізацію. Адміністратор повинен стимулювати ініціативу знизу.

### **3. Школа людських відносин**

Основоположники школи: Елтон Мейо (1880-1949), Вальтер Ділл Скотт (1869-1955), Мері Паркер Фоллетт (1868-1933), Абрахам Маслоу (1908-1970), П.М. Кержінцева (1881-1940) та ін. Цей напрям в розвитку управлінської науки пов'язаний з переходом у господарській діяльності від екстенсивних методів до інтенсивних, від проблеми “робітник – машина” до проблеми психофізіології людської праці, соціальних відносин і зростання значення людського чинника. Людина є активний суб'єкт діяльності.

Елтон Мейо експериментально встановив, що такий чинник, як умови праці робітників, впливає на продуктивність праці менше, ніж особисті стосунки людей на виробництві. У кінцевому підсумку, продуктивність праці визначається переважно людською психологією, а не технічними системами (класичне виробництво). Людина, як соціальна істота, повинна працювати в колективі, якому притаманна соціальна взаємодія та групова поведінка, що протидіє бюрократичній системі ієрархічного взаємо підпорядкування. Потрібно спиратися на колектив працівників, а не на продукцію.

Абрахам Маслоу вважав, що величезну роль в продуктивності праці відіграє мотивація людей, в основі якої лежить ієрархія потреб, задоволення яких іде від нижчого рівня (фізіологічні, вітальні потреби) до вищих соціально-інтелектуальних рівнів. Маслоу довів, що мотиви вчинків людей не є переважно економічними, матеріальними, тобто є безліч потреб, які не можуть бути задоволені тільки грошима.

Мері Паркер Фоллетт показала, що керівник, менеджер повинен бути лідером, який визнаний працівниками організації. *Керівник повинен опиратися на ініціативу працівників, а не на владу.* При цьому, метод управління колективом повинен бути *ситуаційним*, тобто управляти виробничим колективом відповідно до тих обставин, яке диктує ситуація, а не до того, що приписує функція управління.

### **4. Школа поведінкових наук**

Концепцію управління з позицій науки про поведінку – **біхевіоризм** (behavior) розробили Кріс Арджирис (1925 р.н.), Дугласа Мак-Грегора (1906-1964), Фредеріка Герцберга (1925-2000) та ін.

Крісом Арджирисом проведена серія експериментів з вивчення ефективності адміністративних структур, їх здатності знаходити і виправляти помилки. У процесі дослідження він виявив тенденцію опору навчання, що змусило його припустити запрограмованість людей на парадоксальні дії. Люди чинять опір переходу від автоматичного, безпроблемного, соціально інертного існування до свідомої, рефлексивної поведінки в умовах невизначеності та загрози.

Американський соціальний психолог Мак-Грегор стверджував, що існує два види менеджменту персоналу, перший з яких ґрунтується на “теорії Х”, а другий – на “теорії Y”. Теорія Х говорить: середня людина не любить працювати і

по можливості уникає роботи. Теорія Y свідчить, що для людини витратити моральні і фізичні сили на роботу так само природно, як відпочивати або грати.

У першому випадку, менеджмент змушений вдаватися до жорстких форм примусу (тотальний контроль і система покарань), а також до м'яких форм примусу (переконання і заохочення). Проте обидві ці форми помилкові, тому що не беруть до уваги причину небажання працювати: справа в тому, що людині мало гідної винагороди за працю, йому необхідна можливість самореалізації, а будь-яка форма примусу цьому перешкоджає.

У другому випадку, теорія менеджменту рекомендує стимулювання праці, щоб *дати можливість працівнику брати на себе відповідальність, повністю розкритися, максимально використати свій інтелектуальний потенціал, відчувати свою значимість для організації.*

Розробляючи теорію потреб, Фредерік Герцберг з'ясував, що задоволеність і незадоволеність роботою викликається двома різними чинниками:

1. **“Мотиватори”** – чинники, які позитивно впливають на мотивацію до праці. Це такі чинники, як визнання, відповідальність, службове зростання та інші заходи персонального заохочення.

2. **“Чинники контексту”**, або **“гігієнічні чинники”** – чинники, які негативно впливають на мотивацію, визначають незадоволення від роботи. Це такі чинники, як політика фірми, умови праці, рівень охорони праці на підприємстві і т. ін.

Таким чином, історичний вклад **біхевіоризму** в розвиток менеджменту в тому, що були досліджені аспекти підвищення ефективності організації (підприємства) за рахунок підвищення ефективності його людських ресурсів.

## **5. Школа економіко-математичного (кількісного) підходу**

Вказана школа з'явилась у середині ХХ ст. завдяки працям з **кібернетики** (Н. Вінер, У.Р. Эшби, Ст. Бір, А.І. Берг, Р. Калман, Д. Фостер, В.М. Глушков та ін.), **системного підходу** та **системного аналізу** (Л. фон Берталанфі, М. Месарович, Н. Вінер, М.М. Моїсеєв, П. Дракер, Т. Пітерс, Р. Паскаль, Г. Саймон та ін.) і **ситуаційного підходу** (Р. Моклер, Г. Кунц, С. О' Доннел, Р. Акофф, Д.А. Поспелов та ін.).

Уявлення про системний і ситуаційний підходи читачами раніше отриманий, розглянемо один із аспектів кібернетичного підходу.

Кібернетика розглядає **управління** як зміну стану об'єкта, системи або процесу, яке веде до досягнення поставленої мети.

Для управління об'єктом (системою або процесом) необхідно знати і передбачати його поведінку при різноманітних можливих зовнішніх впливах на нього, тобто потрібно мати деяку математичну модель.

Поведінка об'єкта управління визначається не тільки поточними значеннями діянь (впливів) на нього, але й залежить від їх попередніх значень. Це означає, що ми маємо справу з динамічними об'єктами, математична модель яких переважно подається на мові диференціальних і різницевих рівнянь.

**П→** Американський вчений Р.Е. Калман (1930-2016) здійснив аналіз **стаціонарної системи управління** (це система, в якій зміна вхідного сигналу в часі  $t$  спричиняє до такої ж зміни

вихідного сигналу). При цьому вектор стану  $x(t)$  порядку  $n$  і вектор управління  $u(t)$  порядку  $m$  вчений зв'язав співвідношенням:

$$G = Ax + Bu, \quad (6.1)$$

де  $A$  – постійна матриця порядку  $n \times n$ ,  $B$  – постійна матриця порядку  $n \times m$ ,  $G$  – стовбець вільних членів системи рівнянь.

Відповідно до теореми Калмана [185], *система називається цілком керованою, якщо для будь-яких моментів часу  $t_0$  і  $t_1$  ( $t_1 > t_0$ ) існує управління  $u(t)$  ( $t_0 \leq t \leq t_1$ ), яке переводить початковий стан  $x(t_0)$  в кінцевий стан  $x(t_1)$* . При цьому, умова повної керованості системи, яка формалізована  $n$ -мірною системою (6.1) в неперервному випадку, тоді і тільки тоді, коли матриця  $M = [B \ AB \ A^2B \dots \ A^{n-1}B]$  розмірності  $n \times nm$  має ранг, рівний  $rank M = n$ .

Для  $m = 1$ , матриця  $B$  – вектор-стовпець. Звідси отримуємо, що для цілком керованої системи (6.1) вектори  $B, AB, A^2B, \dots, A^{n-1}B$  повинні бути лінійно незалежні.

Очевидно, що система називається *частково керованою*, якщо вона має підмножину початкових станів, із яких досягнення довільного бажаного стану за кінцевий час  $\Delta t$  неможливо. ◀

---

## 6.2. Історичний аналіз концепцій управління якістю

---

Вирішення проблеми якості в давнині. Еволюція вирішення проблеми якості в системах: Тейлора, статистичних методах, методі контрольних карт, концепції Е. Демінга, концепції TQC, концепції Дж. Джурана, концепції Ф. Кросбі, концепції TQM, концепції ISO-9000. Характеристика етапів еволюції управління якістю.

---

У британському стандарті BS 5750 термін “**якість**” розглядається як *придатність для цілей, тобто наскільки достатньо і точно спроектований та виготовлений продукт, щоб задовольнити потреби споживача*.

**Продукт** (від лат. *produce(re)* – створювати) – *речовий або інтелектуальний результат людської праці (обробки, переробки, дослідження і т. п.), або речовина, яка служить матеріалом для виготовлення або вироблення чого-небудь*. У маркетингу **продукт** – *це товар або послуга, яку можна запропонувати для ринку, і яка буде задовольняти потреби споживачів*. Продукти діляться на матеріальні і нематеріальні.

Коротко розглянемо еволюцію мислення в сфері управління якістю, тобто зародження систем, методів і концепцій, які впроваджувалися у певні історичні періоди часу. Всебічний огляд історії розвитку досліджень і концепцій якості читач може отримати з праць [46; 213; 217].

З незапам'ятних часів людство було знайоме з проблемою якості продукції і винаходило різні способи його контролю, а також заходів відповідальності за низьку якість. Так, вавилонський цар Хаммурапі (близько 1700 років до н.е.) видав Кодекс відповідальності за продукцію, в якому, зокрема, містилися такі положення: “Якщо частина будинку обвалилася і це стало причиною загибелі господаря, то будівельник також повинен бути убитий. Якщо ж загинув один з дітей господаря, то і один з дітей будівельника також повинен бути убитий”. Жорстоко, проте, цілком в дусі того часу.

Будівельники єгипетських пірамід вимагали точного вимірювання всіх розмірів. З тих пір збереглася картинка, на якій зображений робітник, що обтісує кам'яний блок, і контролер, який перевіряє якість блоку, що йде на будівництво піраміди. Цей сюжет став логотипом Інституту Джуран (США) – одного з провідних світових центрів підготовки фахівців з проблем якості.

Зазначимо, що **виробничий брак** – *продукція, що не задовольняє встановленим вимогам.*

ISO 9000 рекомендує використовувати замість поняття “брак” поняття “**невідповідність**”.

Передача (продаж) бракованої продукції споживачеві не допускається через наявність дефектів.

**Дефект** – *кожна окрема невідповідність продукції встановленим вимогам.* Наявність дефекту означає, що дійсне (*real*) значення параметра  $L$ , тобто  $L_r$ , виходить за межі нормованих допустимих значень, які визначаються нерівністю:

$$d_{min} \leq L_r \leq d_{max} \quad (6.2)$$

Перелік, вид і гранично-допустимі значення параметрів, що характеризують дефекти, визначаються показниками якості продукції та даними, наведеними в нормативно-технічній документації підприємства на продукцію, що виготовляється.

### 1. Система Тейлора (1905г.)



Американський інженер і вчений **Фредерік Уїнслоу Тейлор** (1856-1915), основоположник наукового менеджменту (див. фото). Він узагальнив досвід конвеєрної системи виробництва **Генрі Форда** (1863-1947). Завдяки Г. Форду і Ф. Тейлору були закладені підвалини у створенні концепції організації машинного виробництва (виробнича система Форда-Тейлора), яка й досі є моделлю функціонування більшості сучасних промислових підприємств. Ф.Тейлор запропонував концепцію наукового менеджменту, яка включала системний підхід, кадровий менеджмент, ідею поділу відповідальності між менеджерами та робітниками у забезпеченні ефективної роботи організації (підприємства), ідею наукового нормування праці.

Система Тейлора увела поділ продукції на якісну і дефектну (брак), встановлювала вимоги до якості продукції у вигляді верхньої і нижньої межі якості, поля допуску, шаблонів (інтервалів допусків), які називали прохідними і непрохідними калібрами.

Система передбачала посаду незалежного інспектора з якості, різноманітні штрафи для “бракоробів”.

Елементи системи Тейлора залишилися і до теперішнього часу, однак зараз вона є лише одним із ланок в ланцюзі складових управління якістю.

Окрім цього, Ф. Тейлор висунув ідею ієрархічної структури управління організацією, яку остаточно розробили французький вчений **Анрі Файоль** (1841-1925) і німецький вчений **Макс Вебер** (1864-1920).

## 2. Статистичні методи (20-ті рр. XX ст.)

У 1924 році в компанії “Bell Telephone Laboratories” (сучасна назва AT & T, США) був створений відділ забезпечення якості, який очолив доктор *Р.Л. Джонс*.

У штаті цього відділу працювали *Уолтер Шухарт* (*Walter A Shewhart*, 1891-1967) – творець так званих “*контрольних карт*”. *Гарольд Ф Додж* (*Harold F Dodge*, 1893-1976) і *Гаррі Г. Роміг* (*Harry G Romig*, 1900-1989) – які обґрунтували *методи вибіркового контролю якості продукції* і процесів.

У цьому ж відділі працював і *Едвардс Демінг* (*Edwards W Deming*, 1900-1993), згодом став *всесвітньо відомим “гуру”* в галузі якості [51].

Зазначимо, що *гуру* (санскр. गुरु, “*гідний*”, “*той, хто знає шлях*”) в індуїзмі та буддизмі означає вчитель, духовний наставник. Сучасне трактування значення цього слова – майстер своєї справи, віртуоз, професіонал.

Х. Доджем і Х. Ромігом запропоновані статистичні методи контролю якості, які базувалися на методах математичної статистики. Якість всієї партії продукції визначалася на основі оцінювання якості, шляхом відбору її певної частини (вибірки).

Вибірковий метод вирішує проблематику, пов’язану з відбором одиниць вибірки, обчисленням характеристик вибірки та отримання статистичних висновків про сукупність об’єктів, з якої ця вибірка взята. Вказана сукупність об’єктів є *генеральною сукупністю* (ГС). Основна мета вибірки – здійснити статистичні висновки про характеристики ГС.

Вид вибірки залежить від характеру послідовності процедур (алгоритму) відбору одиниць вибірки (елементів ГС). Розрізняють випадкову, систематичну, районовану, ступеневу, множинну та інші вибірки.

Отже, *вибірка* (вибіркова сукупність) – сукупність випадково відібраних із ГС елементів (об’єктів) для дослідження її якісної чи кількісної ознаки. *Обсяг* вибірки *n* – це кількість елементів (об’єктів).

Очевидно, що в загальному випадку  $n \ll n^Г$ , де  $n^Г$  – обсяг ГС.

Основна вимога до вибірки – вона повинна бути *репрезентативною*, тобто *правильно відображати ті властивості ГС, що вивчаються*. Наявність чималої статистичної інформації  $\{x_i\}, i = \overline{1, k}$  дає можливість отримати стійку *статистичну оцінку* або *статистику*

$$\Theta^* = \varphi(x_1, x_2, \dots, x_k) \quad (6.3)$$

та вірогідні (достовірні) репрезентативні висновки.

Закон розподілу статистики  $\Theta^*$  в загальному випадку залежить від класу закону розподілу випадкової величини *X*, параметрів цього закону, а також від повноти наших знань про гіпотетичний закон розподілу.

Статистику  $\Theta^*$  можна розглядати як випадкову величину *X*, яка характеризується *числовими характеристиками* – початковими та центральними емпіричними моментами (вибіркове середнє, дисперсія, асиметрія, ексцес та ін.). Ці характеристики є статистичними точковими оцінками невідомих параметрів

$\Theta_1, \Theta_2, \dots, \Theta_p$  теоретичного розподілу

$$\Psi = \Psi (X, \Theta_1, \Theta_2, \dots, \Theta_p), \quad (6.4)$$

де  $X$  – дискретна або неперервна випадкова величина.

Якщо вказані статистичні оцінки мають властивості обґрунтованості (слухності), незміщеності й ефективності, то вони приймаються як приблизні оцінки основних параметрів теоретичного розподілу.

### **3. Метод контрольних карт**

Володіючи методами математичної статистики, У. Шухарт їх застосував для аналізу виробничого процесу і в 1924 році запропонував “*контрольні карти*” як внутрішньо фірмовий документ для регулювання технологічних процесів.

Центральна ідея Шухарта полягала в тому, що треба формулювати висновки на основі фактичних даних і всіляко скорочувати варіацію у виробничому процесі. З іншого боку, для нього надзвичайно важливою була орієнтація на споживача продукції.

У 1931 р. У. Шухарт випустив книгу “Економічний контроль якості промислової продукції”, в якій широко були описані методи статистичного контролю якості (Statistical Quality Control – SQC), а також основні етапи циклу управління якістю.

Вказана книга до сих пір викликає великий інтерес у фахівців і не втратила своєї актуальності для інжинірингу якості. Цього вченого на Заході називають “батьком сучасної філософії якості” завдяки його величезному впливу на сучасні погляди на контроль якості.

### **4. Концепція циклу Демінга**

У середині 20-х років ХХ ст. В. Шухарт, який працював у компанії Белла (зараз називається AT & T – American Telephone & Telegraph Co) увів поняття *циклу безперервних технологічних змін* на підставі статистичного контролю якості.

На початку 50-их роках ХХ ст. якість японських товарів мала дуже погану репутацію. Після візитів до Японії Демінга і *Джозеф М. Джурана* (Joseph M. Juran, 1904-2008), їх колега – *Каору Ісікава* (Kaoru Ishikawa, 1915-1989) почав систематизоване впровадження в практику найпростіших статистичних методів, які в подальшому були названі “*Сім інструментів контролю якості*” (“The Seven QC – Tools”) [53; 88].

К. Ісікаві належить ідея «*Контролю якості в масштабі всієї компанії*» (Company Wide Quality Control – CWQC).

Завдяки людині-легенді – Е. Демінгу, одному з творців “японського економічного дива”, праці Шухарта і його колег отримали широке розповсюдження у світі. Сьогодні всім відомий знаменитий “*Цикл Демінга*” або цикл РДСА (від англ. *Plan – Do – Check – Act*), який означає “*Планувати – Виконувати – Контролювати – Діяти*”. Таким чином, модель управління, яку запропонував Е. Демінг має такі послідовні компоненти [51]:



1. *Складання плану дії (Plan of action)*: Що потрібно зробити ?; Коли це потрібно зробити ?; Хто повинен це зробити ?; Як це слід зробити ? З допомогою чого це можна зробити ?
2. *Виконувати дії, робити (perform actions, Do)*: виконання запланованих робіт.
3. *Перевірка зробленого (Check)*: визначається, чи дало виконання робіт очікуваний результат, це власне є контролювання.
4. *Діяти (Act)*: з урахуванням інформації, отриманої на етапі перевірки, проводяться необхідні зміни з коригування плану.

Вказана модель описує цикл (*PDCA*), тобто повторюється знову і знову, і отримала назву “*Цикл Демінга*” або “*Колесо Демінга*” (рис. 6.1). У результаті відбувається постійне налагодження процесу роботи (адаптація до умов виконання та зовнішнього середовища, постійне вдосконалення), що означає більшу ймовірність отримання бажаного результату, тобто досягнення поставленої мети. Зазначимо, що Демінг привіз цю модель до Японії, де стверджував, що ідея належить У. Шухарту. Тому, заради справедливості доцільна також назва “*Цикл Шухарта-Демінга*”.

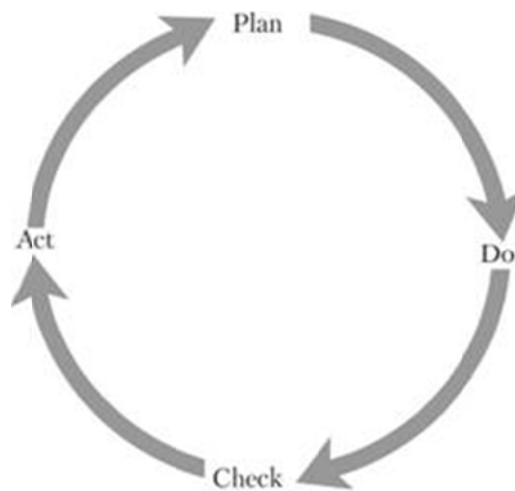


Рис. 6.1. Цикл (“колесо”) Демінга

Суть *концепції Демінга* зводиться до наступних наукових положень [175]:

- ❖ Планування вдосконалення діяльності при виявленні в ній помилок і пошук вирішення виниклих проблем.
- ❖ Впровадження запланованого поліпшення на невеликій ділянці робіт з метою скорочення можливих збоїв у звичайній діяльності на етапі вирішення проблем.
- ❖ Контроль досягнення бажаного результату за допомогою тестових змін. Безперервний контроль ключових заходів (незалежно від тривалості експерименту) з метою забезпечення можливості визначення знову виникаючих проблем.
- ❖ Дії з метою впровадження змін у великих масштабах в разі успішності експерименту. Залучення в процесі впровадження змін інших учасників, чия співпраця буде потрібна при впровадженні змін, при яких просто можуть отримати корисний досвід виконаної роботи.

У 50-х рр. ХХ ст. з'явився новий “туру якості” – американський вчений Дж. Джуран, який активно пропагував статистичний погляд на якість товарів [53].

Зазначимо, що Дж. Джуран і Е. Демінг стали першими вченими, хто звертати першочергову увагу на організаційні питання забезпечення якості, роблячи акцент на ролі вищого керівництва та всього персоналу компанії у вирішенні проблем якості. Вони стверджували, що тільки прихильність вищого керівництва ідеї якості здатне забезпечити його постійне підвищення. З другого боку, ще в 1950 році Демінг навчав японців, що вони повинні розглядати споживача як “найважливішу частину виробничого ланцюга”.

### **5. Концепція загального контролю якості (TQC)**

Модель загального контролю якості (Total Quality Control, TQC) розроблена в 1951р. американським вченим **Армандом Фейгенбаумом** (*Armand V. Feigenbaum, 1922-2014*) [197].

А. Фейгенбаум першим висунув цілісний (“*холістичний*”), системний підхід до процесу формування якості, усвідомивши його комплексний характер. Він один із перших, хто звернув увагу на взаємозв'язок якості та ефективності виробництва та запропонував розглядати не кінцевий результат виробництва, а кожен етап створення виробу, тобто він фактично здійснив перехід від концепції контролю до концепції управління якістю.

Вчений визначив поняття “*вартість якості*” та створив систему загального контролю над якістю (TQC), яка в повному обсязі була впроваджена в практику роботи японських підприємств Е. Демінгом, починаючи з 1950 р., що сприяло появі високоякісних і відносно недорогих японських товарів (б. 2).

Концепція TQC отримала подальший розвиток в Японії у формі загального статистичного контролю якості (TSQC ↔ англ. Total Quality Statistical Control).

Окрім японського вченого К. Ісікава [88], великий внесок у менеджмент якості вклав **Таїті Оно** (Taiichi Ohno, 1912-1990), японський інженер і підприємець, з 1978 року – голова ради директорів компанії “Тойота босёку”. Він створив відому виробничу систему на фірмі Тойота, яка зараз називається “*бережливе виробництво*” (*Lean production*) [191]. Одним з елементів цієї системи стали “*гуртки контролю якості*” (“QC – circles”). У цих гуртках все організаційно-технічні та економічні рішення приймалися спільно, а саме менеджерами, інженерами і робітниками. У 1951 р. в Японії була затверджена премія Демінга за досягнення у сфері якості, яка стала прообразом багатьох національних і міжнародних премій за досягнення в сфері вдосконалення якості.

В системі TQC відбувається інтеграція технології контролю якості в різних функціональних підрозділах фірми, в той час як CWQC, згідно Ісікава, включає також випуск високоякісної продукції за низькою ціною з вигодою для споживачів, службовців компанії і її власників, а також всебічне поліпшення якості життя.



## 6. Триpletна концепція Дж. Джурана

Дж. Джуран у 1951 р. опублікував книгу “Керівництво з управління якістю”, в якій розвинув ідею трилогії якості.

У концепції Дж. Джурана висвітлено три аспекти стратегічного планування якості в організації, а саме планування, поліпшення й управління якістю (рис. 6.3).

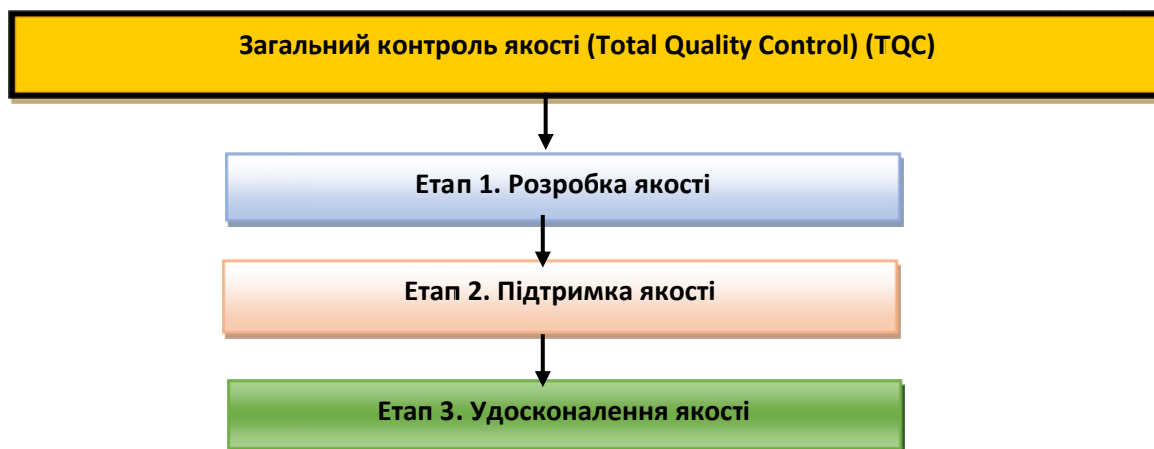


Рис. 6.2. Зміст моделі загального контролю якості (TQC)

## 7. Концепція бездефектної праці Ф. Кросбі

Менеджмент якості після 50-х рр. продовжував розвиватися. Зокрема, протягом 70-х рр. ХХст. були розроблені методи “Розгортання функцій якості” (“*Quality function deployment*”, QFD), які являли собою вже певний організаційно-технологічний інструментарій менеджменту якості.

Ще до початку 80-х років навіть самі широкомасштабні системи всередині фірм і концернів за кордоном ще називалися системами контролю якості. Саме в цей період починається активне зближення методів інженерного забезпечення якості з уявленнями загального менеджменту.

У 50-х рр. ХХ ст. американський вчений **Філіп Кросбі** (Philip Crosby, 1926-2001) запропонував концепцію бездефектної праці, яку частіше називають “**Нуль дефектів**” (“*Zero defects*”, ZD).

Основна ідея концепції полягає в тому, що платять не за якість, а за його відсутність або недолік, що й повинно стати предметом контролю [121].

Кросбі висловив знаменитий афоризм: “**Якість – безкоштовно**». З цього випливає, що виробнику доводиться платити не за якість, а за його присутність, що має бути предметом постійного контролю й аналізу.

У своїй книзі «Якість – безкоштовно» Ф. Кросбі доводить, що підвищення якості не вимагає великих витрат, так як підвищення якості одночасно підвищує і продуктивність, оскільки одночасно знижуються багато статей витрат, пов’язаних з усуненням виявлених дефектів, з переробкою неякісної продукції, запобіганням повернення продукції споживачем і т. д.

## 8. Концепція загального управління якістю (TQM)

У 50-х рр. ХХ ст. створюються передумови створення нової концепції – концепції загального управління якістю (*Total Quality*

Management – TQM). У даній концепції сформульовані такі *цілі*:

- орієнтація підприємництва на задоволення поточних потенційних запитів споживачів;
- зведення якості в ранг головної мети підприємництва;
- оптимальне використання всіх ресурсів організації;
- усвідомлення того, що переважна більшість дефектів виробів виникає на стадії проектування;
- заміна випробувань натуральних дослідних зразків математичним моделюванням виробів, що дає змогу виявити і виключити конструкторські та технологічні дефекти ще до початку стадії виробництва;
- заміна концепції “Нуль дефектів” на *концепцію “Задоволення споживача”*;
- пропонувати споживачеві високу якість товару за прийнятною ціною щоб витримати конкуренцію.

Виконання поставлених цілей забезпечує *стратегія* – орієнтація на споживача (у даному випадку стратегія визначає). Особливістю концепції TQM є те, що велика увага приділяється питанням *мотивації*, як на рівні окремого співробітника, так і на рівні організації.

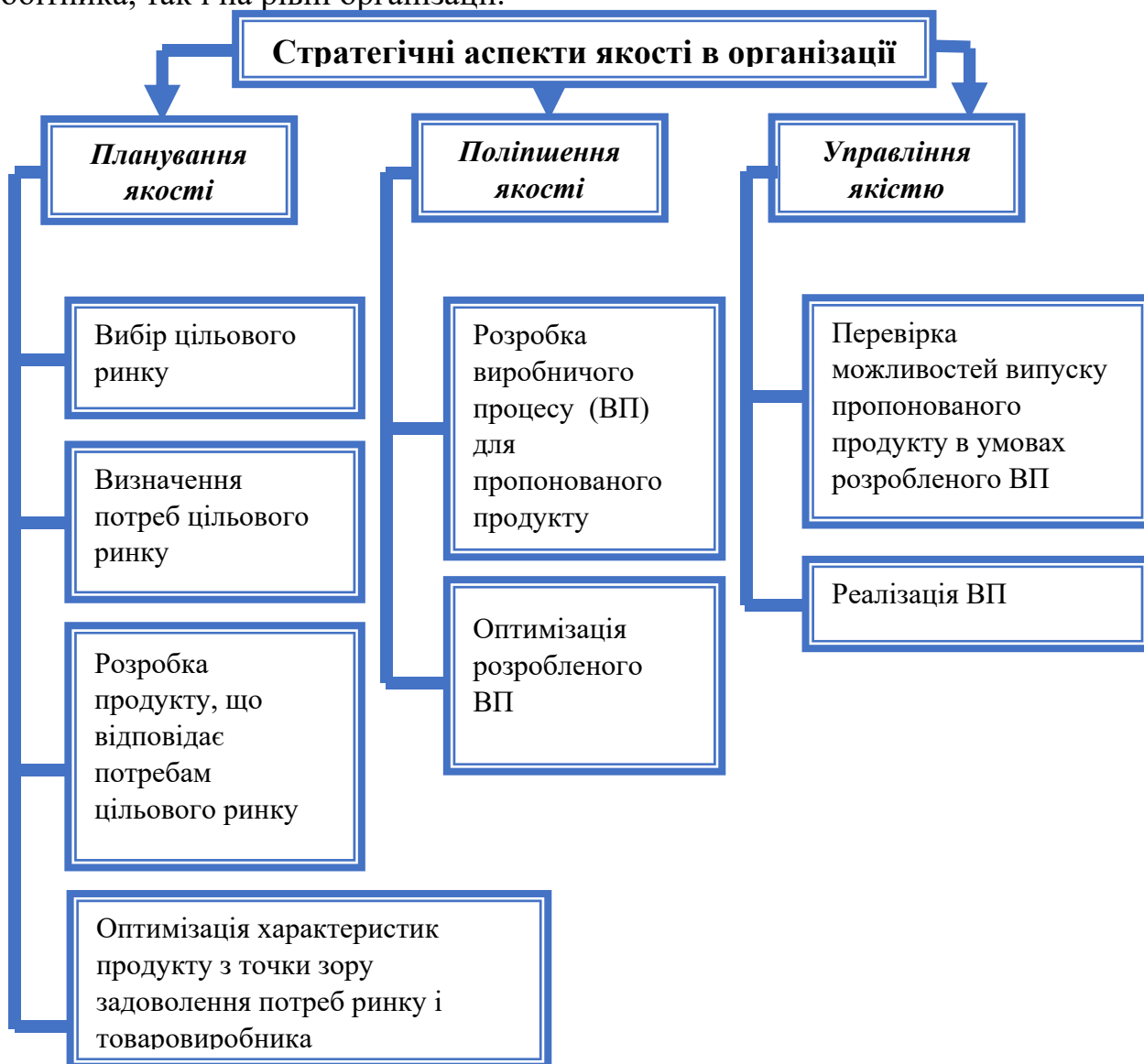


Рис. 6.3. Трилогія якості Дж. Джурана

**Стратегія якості**, запропонована під маркою TQM, – це стратегія:

- раціональних форм і способів досягнення цілей підприємництва;
- орієнтації на споживача;
- конкурентної боротьби, яка має за мету постійне поліпшення всіх результатів роботи;
- постійного поліпшення діяльності всієї організації (не тільки підсистеми, що займається продукцією та послугами);
- поліпшення бізнесу;
- застосування для вирішення проблем якості системного підходу на основі інтеграції і координації всіх видів діяльності на підприємстві;
- управління якістю продукції як управління *всім виробництвом* за критерієм якості продукції, що випускається.

### **9. Концепції управління якістю ISO-9000**

На рубежі 1970-1980-х рр. до фахівців прийшло розуміння універсальності основних принципів управління якістю, прийнятних для підприємств будь-якої галузевої належності, незалежно від того, в якій країні вони знаходяться. Єдиною необхідною умовою їх застосування була наявність в країні ринкової економіки.

У результаті, міжнародною організацією по стандартизації (*International Organization for Standardization, ISO*) було розроблено сімейство міжнародних стандартів за системою якості, які позначаються аббревіатурою так: ISO-9000.

Саме сертифікація системи якості на відповідність вимогам стандартів ISO-9000 є одним з початкових етапів впровадження методології TQM у практику діяльності підприємства (організації).

**ДВ**→Перша версія стандартів ISO випуску 1987 року та їх перероблена версія 1994 року ще не представляли собою кроку вперед з точки зору еволюції ідеї якості. У них сприйняття якості все ще було обмежено критерієм відповідності нормативним вимогам.

Уведення стандартів ISO серії 9000 було важливо не тому, що вони:

- сприяли розвитку понять, що відносяться до якості;
- закріпили на міжнародному рівні роль якості в стосунках між замовником і постачальником;
- стали стимулом для розвитку сертифікації, в тому числі і з політичної точки зору;
- викликали поширення по горизонталі основ культури менеджменту якості серед безлічі малих і середніх підприємств;
- сприяли доповненню *менеджменту на основі цілей* (*Management Based on Objectives, MBO*) *менеджментом на основі якості* (*Management Based on Quality, MBQ*).

Зазначимо, що *основна ідея концепції MBO* полягає в структуризації та розгортанні цілей (створення “*дерева цілей*”), а потім проектуванні системи організації та мотивації досягнення цілей. У свою чергу, MBQ стає нині провідним менеджментом фірм, тобто менеджментом четвертого покоління. Одночасно відбувається процес “зрощування” MBO і MBQ як і на першому етапі в системі Тейлора, але вже на новому, якісно вищому рівні.

Сьогодні жодна фірма, яка не просунута в області менеджменту якості та екології, не може розраховувати на успіх в бізнесі і будь-яке суспільне визнання.

В активі менеджменту якості сьогодні такі досягнення:

- міжнародна система сертифікації систем якості, включаючи сотні акредитованих органів з сертифікації, міжнародна мережа органів з сертифікації систем якості (IQNet);
- 29 міжнародних стандартів ISO сімейства 9000 менеджменту якості, а також стандарти ISO 14000 з екологічного менеджменту;

- міжнародний реєстр сертифікованих аудиторів систем якості (IRCA), в якому вже працюють понад 10000 фахівців з багатьох країн світу;
- практично склалася система аудиту менеджменту на багатьох національних, регіональних і міжрегіональних рівнях;
- понад 150000 провідних фірм світу, що мають сертифікати на внутрішньо-організаційну систему якості та відчувають гордість від цього досягнення. ◀

В основі сучасного бачення якості лежить ідея про те, що *якість створюється в ході практичної діяльності*, особливо в ході реалізації процесів (оперативних, стратегічних, процесів підтримки).

Завдання підвищення якості продукції в даний час стала однією з головних у економічно розвинених країнах світу, і викликано це в першу чергу посиленням конкурентної боротьби за покупця, практично на всіх світових ринках (товари споживання, послуги, організація різних заходів і т. д.).

Підсумовуючи вище викладене, наведемо характеристику етапів еволюції управління якістю (табл. 6.1), де аббревіатура ЖЦ означає «життєвий цикл». Зазначимо, що **виробничий брак** – *продукція, передавання якої споживачу не допускається через наявність дефектів*. До браку можуть бути віднесені вироби, напівфабрикати, деталі тощо, що не відповідають стандартам якості.

Таблиця 6.1

Характеристика етапів еволюції управління якістю (УЯ) [175]

№ з/п	Етапи розвитку УЯ	Механізми управління	Основна мета УЯ	Періодичність управління	Відношення зі споживачами	Система мотивації	Система навчання
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Контроль якості (1900-1920рр.)	Вихідний нормативний контроль	Виявлення дефектів	Після виготовлення	Задоволення вимог споживачів ефективним для виробника способом	Штрафні санкції за брак	Професійна підготовка
2	УЯ виробництва (1920-1950рр.)	Статист. контроль; вибірковий контроль	Попередження дефектів	У ході виробництва	Теж саме, що й вище	Враховує налаштування виробничого процесу	Професійна підготовка; навчання статистич. методам; заохочення навчання
3	Забезпечення якості (1950-1980рр.)	Комплексне управління якістю на всіх стадіях ЖЦ виробу	Підтримання і вдосконалення якості	Перед виробництвом	Гарантія якості продукції шляхом сертифікації	Зменшення матеріального, зростання морального стимулювання	Заохочення навчання

1	2	3	4	5	6	7	8
4	Загальне УЯ (1980 рр. по тепер. час)	Стратегічне управління якістю	Постійне вдосконалення якості	Постійно	Пріоритет поточних і потенційних запитів споживачів	Створення системи визнання заслуг; само-мотивація	Навчання неперервне і всебічне; самоосвіта; навчання стає частиною мотивації

### 6.3. Розвиток наукових підходів до управління якістю

Парадигма. Розвиток наукового знання за К. Поппером. Об'єкт і суб'єкт управління якістю. Об'єкт менеджменту якості. Історичні етапи розвитку управління якістю.

Як ми раніше розглянули, прогресивний розвиток матеріальної системи (природної чи антропогенної) складається з еволюційних етапів і стрибків між ними. Цей розвиток можна описати дескриптивним (описовим), прескриптивним (пояснювальним) і формалізованим (строго доказовим) знанням. Це знання яке є динамічною абстрактною системою, що відображає матеріальні явища та процеси.

Система методів і підходів до управління якістю відображає ті реальні зміни, які актуально відбуваються в сфері управління виробництвом по випуску продукції. Це відповідає закономірностям розвитку наукового знання.

Австрійський і британський філософ і соціолог Карл Поппер (1902-1994), відомий своїми працями з філософії науки, показав, що роль взірця для постановки наукових проблем та їх розв'язання відіграють *парадигми*.

Кожна парадигма (від гр. *παράδειγμα* – приклад, модель, зразок) – це сукупність фундаментальних наукових установок, уявлень і термінів, яка приймається і розділяється науковим співтовариством та є моделлю світоглядної норми та формою пізнавальної діяльності [166]. Тому розвиток наукового знання з управління якістю вкладається в загальну схему, яка запропонована К. Поппером, і нижче зображена ІМ.

*Вихідна проблема* ⇒ *Наукова гіпотеза або апробаційна теорія, що пропонується для розв'язання проблеми* ⇒ *Критика (фальсифікація) цієї теорії* ⇒ *Нова проблема*

Формування наукових знань з питань управління якістю здійснювалося при вирішенні проблем, пов'язаних з суперечностями між зовнішньою метою (укріплення стану виробника на ринку) і внутрішньою метою (підвищення ефективності виробництва через збільшення прибутку підприємства) [94].

Вказані суперечності усувалися на фазі стрибкоподібного переходу від одного історичного етапу розвитку управління якістю до наступного. При цьому, *об'єктом управління якістю* служить процес створення продукції, в ході якого під впливом суб'єктів управління формується її якість, а *суб'єктом управління якістю* є керівники всіх рівнів управління, кожен з яких впливає на процес створення

продукції шляхом реалізації своїх функцій, результатом чого утворюється система менеджменту якості.

Очевидно, що об'єктом менеджменту якості (загального керівництва якістю) служить не тільки процес створення продукції, але і вся інша діяльність підприємства в області якості.

Коротко проаналізуємо вказані історичні етапи розвитку управління якістю спираючись на зміст попереднього матеріалу та посилаючись на праці [46; 94].

### **Перший етап. Відбракування на рівні підприємства (якість продукції як відповідність стандартам)**

Цей етап ґрунтується на концепції організації машинного виробництва (виробничої системи Форда-Тейлора, 1913р.), в якій запроваджено службу технічного контролю, незалежну від виробництва, а для складального конвеєра уведено вихідний контроль комплектуючих виробів (на збирання агрегатів і машин стали поступати тільки якісні деталі і вузли).

Як результат, виявляються дефекти і вилучаються браковані вироби з процесу виробництва. При цьому система мотивації передбачала штрафи та звільнення робітників за дефекти і брак.

Тейлор фактично першим описав цикл PDCA (“Планувати – Виконувати – Контролювати – Діяти”), назвавши його “циклом управління” (в літературі частіше він має назву, як “Цикл Демінга”).

Відповідно до концепції Тейлора, етап планування (*Plan*) полягав у встановленні інженерами вимог до якості деталей або за допомогою границь полів допусків, або за допомогою двох типів калібрів – прохідних і непрохідних.

Виконання (*Do*) вимог входило в обов'язок робітника під керівництвом цехового майстра.

Для функції перевірки (*Check*) була введена посада інспектора, а дії (*Act*) були прерогативою адміністрації і не відрізнялися різноманітністю – або заохотити, або покарати робітника.

Таким чином, система Тейлора – це система управління якістю окремого взятого виробу (деталі, складальної одиниці).

### **Другий етап. Етап статистичного контролю якості**

Цей етап переніс акцент з вияву дефектів до їх попередження на рівні планування. У. Шухарт у 1924 р. розробив концепцію статистичного управління виробничим процесом і заклав основи статистичного контролю якості, що були втілені в “контрольних картах”.

Шухарт увів поняття “процес, який перебуває в керованому стані” (*In-control process*), якщо розподіл визначального параметра, який лежить у його основі, залишається практично незмінним у часі, а розкид спостережуваних результатів можна пояснити наявністю постійної системи випадкових причин, які представляють природну частину процесу і називаються загальними причинами відхилень (*common causes of variation*).

Якщо з часом розподіл змінюється, то процес вийшов з-під контролю, став некерованим (*out-of-control process*). У цьому випадку відхилення параметрів



викликається *особливими причинами (special causes of variation)*. які породжують зовнішні джерела.

*Межі контрольних карт* – поле, всередині якого розміщуються значення параметрів процесу, що знаходиться у керованому стані. Вихід за межі поля означає, що процес став некерованим під впливом особливих причин, які треба виявити й усунути.

Таким чином, якщо в системі Тейлора головна мета потрапити в допуск, то в системі Шухарта – забезпечити стабільність виробничого процесу та зменшити варіації.

### **Третій етап. Комплексне управління якістю та загальний (повний) контроль якості (Total Quality Control, TQC)**

Концепція комплексного методу управління якістю, яка включає загальний контроль якості (TQC), розглядається як *управління якістю з метою виконання встановлених вимог*.

Вказана концепція має різновиди, які розроблені А. Фейгенбаумом (1951р.), Е. Демінгом, У. Шухартом, К. Ісікавою та іншими дослідниками.

Комплексний метод управління якістю запропонував Е. Демінг, який викладений в 14-и принципах управління (вдосконалення) якістю, розглянутих нами раніше. При цьому **Е. Демінг** в основі програми підвищення якості праці поклав такі положення:

- ✓ виробництво повинно розглядатися як система, що може перебувати як у стабільному, так і у нестабільному станах;
- ✓ для вирішення конкретних проблем потрібні докорінні зміни у виробничій системі;
- ✓ будь-яка діяльність може розглядатися як керований процес (“техпроцес”) і тому може вдосконалюватися;
- ✓ вище керівництво підприємства має нести відповідальність за його діяльність у всіх випадках.

Широке впровадження методів забезпечення якості у формі “Кружків контролю якості” спричинили в 1951 р. до виникнення ідеї К. Ісікаві “Контролю якості в масштабі всієї компанії”(CWQC), що передбачала випуск високоякісної продукції за низькою ціною, а також ідеї А. Фейгенбаума “Загального контролю якості” (TQC), яка реалізує інтеграцію технології контролю якості в різних функціональних підрозділах фірми.

### **Четвертий етап. Загальний (всеохоплюючий) менеджмент якості (Total Quality Management, TQM)**

На відміну від розглянутої раніше концепції комплексного методу управління якістю, яка включає загальний контроль якості (TQC), концепція **TQM** *окрім управління якістю включає ще й управління цілями діяльності та самими вимогами* (подробіці концепції **TQM** див. далі).

Впровадження в Україні на початку 90-х рр. XX ст. міжнародних стандартів ISO серії 9000 дозволили застосувати практику сучасного менеджменту якості та упорядкувати сертифікацію систем управління якістю.

## **П'ятий етап. Етап якості середовища**

Етап якості середовища почався з 90-х рр. XX ст. з появою стандартів ISO серії 14000, зокрема ДСТУ ISO 14004-97 “Системи управління навколишнім середовищем” [ДСТУ ISO 14004-97].

Основним предметом ISO 14000 є система екологічного менеджменту – *Environmental Management System, EMS*.

Типові положення цих стандартів полягають у тому, що в організації повинні виконуватися визначені *процедури*, повинні бути підготовлені певні документи, призначені відповідальні за визначені сфери екологічно значимої діяльності.

Вказана система екологічного менеджменту покликана забезпечувати зменшення несприятливих впливів на довкілля на таких трьох рівнях:

- 1) організаційному, через покращення екологічної “поведінки” підприємств;
- 2) національному, через створення державної екологічної політики;
- 3) міжнародному, через вдосконалення умов міжнародної торгівлі.

---

### **6.4. Концепція “Загальне управління якістю” (TQM)**

---

Філософія організації. Означення TQM. Підґрунтя концепції TQM. Три етапи розвитку TQM. Фактори, які впливають на досягнення цілей TQM. Принципи, на яких базується концепція TQM. Японська методологія робочого місця “5S”. CALS-технології. Метод аналізу на варіабельність процесу. Поняття бенчмаркінга. Переваги від використання фірмою методології TQM

---

Концепція “Загальне управління якістю”  $\Leftrightarrow$  “Total Quality Management” (TQM) прийшла на зміну маркетинговій концепції управління бізнесом. TQM – це філософія організації, заснована на прагненні до якості та практиці управління, яка приводить до загальної якості. TQM – загальне (всеохоплююче, тотальне) управління якістю, а точніше – “загальний менеджмент якості”.

Розкриємо сенс словосполучення “філософія організації”. Як відомо, термін “*філософія*” (від грец. *φιλοσοφία* – любов до мудрості) означає теоретичну форму світогляду, особливу форму пізнання світу та людського мислення, що виробляє систему знань про фундаментальні принципи буття людини, про найзагальніші суттєві характеристики людського ставлення до природи, суспільства та духовного життя у всіх його основних проявах.

**ДВ**→ Очевидно, що словосполучення “*філософія організації*” – це основоположні установки та ідеологічні основи, відповідно до яких організація здійснює свою діяльність. Іншими словами, це сукупність ідей, значень, цінностей і цілей діяльності, що включає в себе такі складові, як місія організації, її базові цінності, ключові компетенції працюючих, зобов'язання організації перед зацікавленими групами. Зокрема, сформовані ідеї розвитку організації служать формою представлення і роз'яснення цілей, принципів і задач управління, цінностей, норм, правил, стереотипів поведінки і взаємовідносин в колективі. ◀

Концепція TQM ввібрала в себе ідеї К. Ісікаві з контролю якості в масштабі всієї компанії”(CWQC), а також ідеї А. Фейгенбаума, які втілені в “Загальному контролі якості” (TQC). Концепція TQM має всеохоплюючий характер в сенсі загальності, тобто методологічно є своєрідною філософією організації (фірми, концерну, виробничого підприємства тощо).

Концепція TQM описує новий науковий підхід до створення інноваційної моделі управління якістю продукції підприємства, що функціонує в ринкових умовах.

TQM переслідує такі **цілі** :

- орієнтація підприємництва на задоволення поточних і потенційних запитів споживачів;
- зведення якості в ранг мети підприємництва;
- оптимальне використання всіх ресурсів організації.

Очевидно, що для досягнення вказаних вище цілей потрібно враховувати цілий комплекс факторів (чинників), починаючи із суб'єктивних (люди) і закінчуючи об'єктивними (час) (рис. 6.4).

Концепція TQM отримала три етапи розвитку.

**Перший етап** розвитку концепції TQM (1950-1980 рр.) пов'язаний з розробкою компаніями принципів і елементарних моделей TQM (моделей 1-го покоління), базуючись на власному досвіді. Ці моделі не були належним чином структуровані та акцентували увагу на взаємовідносини зі споживачем, залученні персоналу до праці по забезпеченню якості, безперервному вдосконаленні. Як взірець бралася японська концепція управління якістю в рамках фірми. У 1951 р. радою директорів Японської спілки вчених й інженерів на знак вдячності доктору Е. Демінгу заснувала премію його імені за ідеї, які прогресивно розвивають наукові підходи з управління якістю.

**Другий етап** розвитку концепції TQM (1980-1990 рр.) пов'язаний з впровадженням в практику ідей дослідників У. Шухарта, Дж. Джурана, Е. Демінга, К. Ісікави, А. Фейгенбаума, Ф. Кросбі та ін. Більш точніше, у 1987 р. була заснована національна премія США з якості (премія ім. Мелкома Болдріджа (1922-1987) – видатного американського держаного діяча та бізнесмена), яка поклала початок 2-го етапу у розвитку концепції TQM. У подальшому й інші країни заснували премії за якість, а в 1991 р. – Європейська премія за якість.

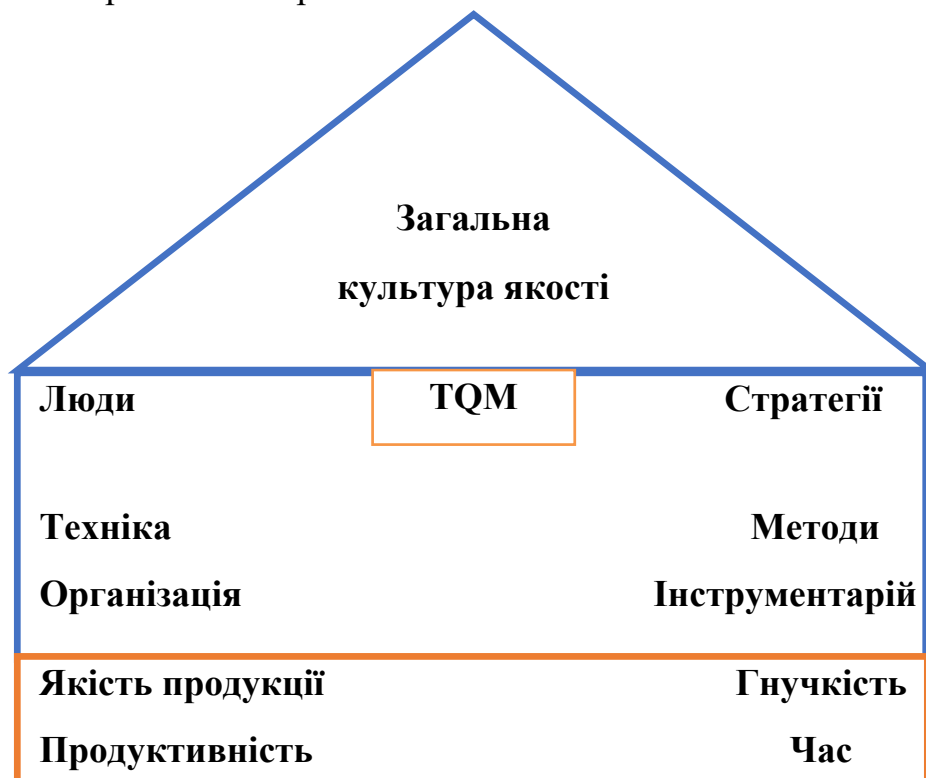


Рис. 6.4. Фактори, які впливають на досягнення цілей TQM [175]

Інваріантним аспектом моделей TQM 2-го покоління були стандарти ISO серії 9000, проте з методологічних позицій були відмінності. Наприклад, у східно азіатських республіках основний наголос робився на статистичних методах і груповій діяльності в сфері якості, а в Європейських країнах і в США – на культурі виробництва на підприємствах. Зазначимо, що якщо концепція TQM призначена тільки для внутрішньої потреби виробника, то стандарти ISO – для регулювання взаємовідносин між виробником і споживачем.

З точки зору філософії, стандарти ISO відіграють роль *загальної категорії* (дають відповідь на запитання, *що необхідно робити* для забезпечення якості продукції та послуг), а концепція TQM відіграє роль *одиночної категорії* (дає відповідь на запитання, *як це робити* в конкретних умовах). Останнє посилюється конкретизацією моделей TQM в певних країнах, які отримали назву “*моделі ділової досконалості*”.

*Третій етап* розвитку концепції TQM (починаючи з 1990 р.) характеризується розробкою та впровадженням моделей TQM 3-го покоління, які покликані вдосконалювати загальний менеджмент підприємства на основі принципів TQM.

### **Принципи, на яких базується концепція TQM, або вісім принципів, які змінюють світ** [94; 175; 180; 211; 214]

У точних науках при побудові концепції чи наукової теорії як вихідне положення приймаються принципи. *Принципи* (лат. *principium* – початок, основа) – *основні вихідні положення будь-якої теорії, концепції або вчення*. Прикладами можуть бути принципи Енштейна, Гюйгенса, Паулі, причинності, інваріантності, відносності і т. ін. у фізиці, а також принципи керування за відхиленням (Ползунова-Уатта) і за збуренням (Понселе-Чіколева) в кібернетиці і т. ін.

**1. Принцип орієнтації на споживача (покупця, клієнта), який заснований на наступних діях:**

- організація, що застосовує концепцію TQM повинна здійснювати *маркетингові дослідження й аналіз ринку*, що полягає в систематичному збиранні й аналізуванні інформації, що надходить із різних джерел і дозволяє отримувати обґрунтовані висновки щодо поточних і потенційних потреб (вивчення попиту з метою повного розуміння потреб й очікувань споживача щодо товарів, цін, поставок і т. д.);
- забезпечення збалансованості в запитах споживачів та інших учасників угоди з товарами (власників бізнесу, персоналу організації, постачальників організації, товариства);
- індивідуальний підхід до кожного потенціального клієнта, розцінювання споживача як головної дійової особи в бізнесі (“*Споживач – король*”, “*Немає споживача – немає і нас*”);
- оцінювання та вимірювання споживчої задоволеності з метою корекції власної діяльності;

- управління взаємовідносинами зі споживачами, розуміння їх поточних і майбутніх потреб, виконання їх вимог, прагнення до перевершення їх сподівань;
- глобалізація ринків, перехід торгівлі через державні кордони, підсилення конкуренції та, як наслідок, якості продукції.

**2. Принцип головної ролі керівництва (лідерство)** – ніяку серйозну справу не буде виконано з найбільшим ефектом, якщо люди, які її очолюють, не візьмуть на себе лідерські функції.

*Лідер – керівник, якого не можна призначити, ним можна тільки стати.*

Керівник-лідер повинен прогнозувати розвиток фірми, генерувати гнучкі засоби та альтернативи досягнення мети розвитку, бути відповідальним за свої рішення та дії (в межах своїх повноважень), виявляти ініціативу. Очевидно, що без лідерів не можна побудувати гнучку, динамічну й ефективну організаційну структуру, створити **місію фірми** (концерну, виробничого підприємства тощо).

Іншими словами, лідерство втілюється в наступному:

- активність поведінки;
- розуміння та реагування на зміни зовнішнього середовища;
- прийняття до уваги потреб усіх учасників угод – власників, споживачів, персоналу організації, постачальників, суспільства;
- створення ясного бачення перспектив організації;
- визначення цілей і реалізація стратегії для досягнення цілей;
- встановлення поділюваних усіма цінностей та етичних принципів на всіх рівнях організації;
- створення атмосфери довіри і викорінювання страху в організації;
- забезпечення персоналу необхідними ресурсами і повноваженнями в діях з усвідомленням відповідальності;
- натхнення і заохочення персоналу, оцінка внеску кожного співробітника в загальну справу;
- створення умов для відкритих і чесних комунікацій;
- навчання персоналу, наставництво;
- створення керівниками організації такого клімату в організації, при якому співробітники будуть максимально залучені в процес досягнення поставлених цілей (чинники, які впливають на досягнення цілей TQM подані на рис. 6.5).

**ДВ**→ Лідер повинен брати на себе відповідальність, повністю розкритися, максимально використати свій інтелектуальний потенціал, відчути свою значимість для організації. Моделювання діяльності лідера колективу відноситься до класу слабо структурованих проблем, вирішення яких можливий евристичними методами на основі літературних, експериментальних і статистичних даних. Як результат, переважно будують відповідні **концептуальні моделі діяльності керівника**, які репрезентують собою образ ідеального лідера, який має професійні знання, уміння та навички, ефективно оперує методами, засобами і технологіями теоретичної та практичної діяльності, а також **професіонала**, який, крім цього, володіє цінностями, ідеалами і, взагалі, цілісною фаховою культурою.

Першою за значущістю якістю керівника (лідера) є **освіченість та управлінська компетентність**.

**Освіченість** – це категорія, яка крім *навченості* (професійної грамотності, що відповідає стандарту вищої та спеціальної освіти), визначається системою ідеалів, управлінських і професійних ціннісних орієнтацій, інтелектуальною ініціативою, а також здатністю до синтезу

нових знань, критичного оцінювання як чужих так і власних результатів діяльності. Окрім цього, освіченість є інтегративною властивістю, що відображає наявність певного практичного досвіду застосування набутих раніше знань, умінь і навичок, які реалізуються через дискурсивне та креативне мислення і направлені на творче перетворення світу, на самовдосконалення (самопізнання, самовизначення, самореалізацію).

**Управлінська компетентність** (від англ. *competence* – здатність, спроможність, уміння) – це актуальна здатність підготовленого фахівця ефективно та результативно виконувати управлінські завдання, фахові обов’язки та посадові функції, які входять до його **компетенції** (сфери повноважень чи видів діяльності) та відповідають наявному освітньо-кваліфікаційному рівню (бакалавр, магістр) чи освітньо-науковому рівню (доктор філософії, доктор наук).

Окрім цього, компетентність ґрунтується на таких **здатностях**:

- виявляти, формулювати та конструктивно вирішувати проблеми;
- гнучко застосовувати методи теоретичної та способи практичної діяльності;
- приймати відповідальні й інноваційні рішення;
- мобільно поповнювати особисті професійні знання;
- самоорганізовуватися та самореалізовуватися;
- безперервно саморозвиватися та самовдосконалюватися;
- критично мислити та саморефлексувати тощо.

Очевидно, що лідер повинен мати як **загальні здібності** (працездатність, працьовитість, цілеспрямованість, гнучкість розуму, інтуїцію, мимовільний і довільний типи саморегуляції тощо), так і **спеціальні здібності** в управлінській, професійній та науковій галузях на рівнях обдарованості чи таланту (найвищий рівень – геніальність).

Лідер – це обов’язково рефлексивно мисляча особистість, управлінські якості якого забезпечують спроможність приймати ефективні та результативні рішення в певній предметній галузі діяльності, висувати продуктивні оригінальні ідеї, досягати поставлених цілей з мінімально можливими затратами часу та інших ресурсів.

**Поле управлінської діяльності** (ПУД) керівника організації (виробництва, фірми, навчального закладу тощо) раціонально поділити на  $n$  блоків, відповідно до виділених **завдань діяльності**  $\tau_i, i = \overline{1, n}$ . Кожне завдання діяльності  $\tau_i, i = \overline{1, n}$  підлягає декомпозиції на нормовану сукупність **функцій діяльності**  $f_{ij}, j = \overline{1, m}$  які відповідають **видам діяльності**: передбачення (прогнозування), проектування, планування, підготовка, здійснення, контроль, аналіз результатів тощо. У свою чергу, види діяльності структуруються на певну сукупність **дій** (сенсомоторних, вольових, розумових, мотиваційних, орієнтаційних, виконавчих, контрольних тощо).

Вказане спонукає до необхідності поділу кожної функції діяльності  $f_{ij}, j = \overline{1, m}$ , на певні **підфункції**  $f_{ijk}, k = \overline{1, q}$ , кожній із яких відносно легко підібрати певні **елементи компетентності**  $C_{ks}, s = \overline{1, v}$  та критерії їх оцінювання  $\Omega_{ks}$ . Останні мають стандартизований характер, тобто визначаються **стандартом управлінської компетентності**.

Таким чином, застосовуючи знак імплікації ( $\Rightarrow$ ) можна подати ієрархічну структуру діяльності та управлінської компетентності керівника у вигляді такого формалізму:

$$\text{ПУД} \Rightarrow \tau_i \Rightarrow f_{ij} \Rightarrow f_{ijk} \Rightarrow \begin{cases} C_{ks} \\ \Omega_{ks} \end{cases} . \quad (6.5)$$

Як показали результати проведених нами теоретико-емпіричних досліджень [\*], **порядність (моральність)** – це друга за значущістю якість керівника, яка включає в собі внутрішню вихованість (наявність моральних звичок і почуттів, як потреб виконувати моральні норми і протидіяти їх порушенню), скромність, вимогливість до себе, комунікабельність, принциповість, упевненість у собі, справедливість, чесність, сумлінність, самокритичність, терпимість, можливість переходу у стан комфортності (“бути як інші”), тактовність, альтруїзм, уміння “руйнувати” свою консервативність (“я все знаю, все вмю”), безперервне моральне самовдосконалення.

Третьою якістю лідера є **духовність**, яка включає у собі любов до батьківщини (патріотизм), до управлінської діяльності (до праці), до природи, до мистецтва, до життя, до Бога, до батьків, дітей, внуків і родичів, до друзів, а також почуття власного достоїнства, людяність, доброта, емпатія (співпереживання), гуманність, лагідність (“миротворіння”), милосердність (“блаженність чистим серцем”), здатність до аналізу духовних смислів, неперервне духовне самовдосконалення (див. рис. 6.5).

{[\*] Костюченко М.П. Вимоги до керівника вузу середньої ланки в контексті формування інноваційної культури / М.П. Костюченко // Міжн. наук.- практ. конф. “Управління навчальними закладами: досвід, проблеми та перспективи”, 29-30 жовтня 2013 р.: матеріали. – Одеса: Вид. Букаєв В.В., 2013. – С. 88 – 93}. ◀

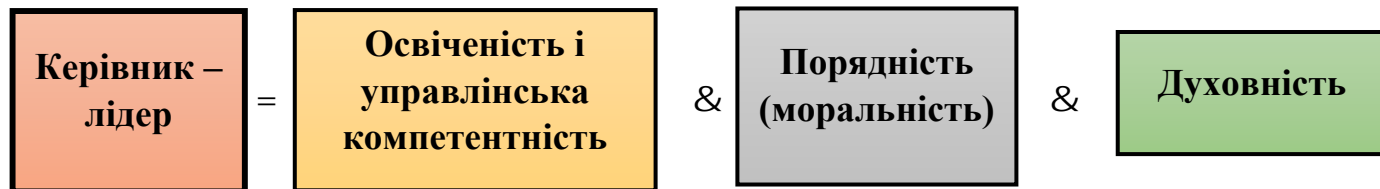


Рис. 6.5. Вербально-логічна формула керівника-лідера, де &– символ кон’юнкції

### 3. Принцип залучення співробітників у діяльність з управління якістю.

Персонал розглядається як головний ресурс організації. Це втілюється в таких діях, як:

- прийняття на себе відповідальності за вирішення проблем;
- активний пошук можливостей поліпшень;
- активний пошук можливостей підвищення професіоналізму;
- добровільна передача знань і вмінь колективу;
- орієнтація на створення цінності для споживача;
- раціоналізаторство та творчість;
- краще представлення організації споживачам і суспільству;
- ентузіазм і гордість працівників від усвідомлення того, що вони є частиною організації (колективу).

**ДВ**→ Лідер повинен створити **команду** однодумців, які б розробили та впровадили систему якості. Для реалізації цього треба, по-перше, налагодити відносини у команді способом **делегування повноважень**, яке ґрунтується на **довірі** (ефективна праця залежить від творчого клімату в колективі, елементом якого є довіра). По-друге, умови жорсткого ринку вимагають використання принципів **партисипативного управління** (*participative management*) – один із видів управління, який заснований на участі (співучасті) працівників в управлінні виробництвом, за якого відносини між працівниками та керівниками засновані на партнерстві.

Цей вид управління сприяє ефективності управлінських рішень, підвищує продуктивність праці, реалізує соціальні потреби працівників. В ідеалі, в таких колективах виконується принцип відмови від ідеї покарання співробітників, що робить непотрібною **неправду**, як інструмент маніпулювання.

Належить відзначити, що при повній залученості співробітників досягається **синергетичний ефект**, при якому “...сукупний результат колективної роботи істотно перевершує суму результатів окремих виконавців” [175, с. 41]. При цьому, кожен працівник добре розуміє свою роль і прагне виконувати її найкраще в інтересах фірми.

Кожний хоче **пишатися своєю роботою**, до чого закликав Е. Демінг. Конфліктність в таких колективах, які ґрунтується на довірі, зводяться до мінімуму, а цілі працівників збігаються з цілями організації, що немає потреби в такій звичній громадській організації, як **профспілка**, одним із завдань якої є пошук компромісів. ◀

**4. Принцип процесного підходу.** Під “*процесами*” розуміють *логічно упорядковані послідовності етапів (кроків, елементів, операцій), що перетворюють входи у виходи.*

У практичному плані процеси реалізуються як *алгоритми*. Іншими словами, для досягнення найкращого результату функціонування організації, відповідні ресурси і діяльність, в яку вони залучені, потрібно розглядати як *процес*.

Процесна модель організації містить сукупність *бізнес-процесів*, учасниками яких є всі ланки й елементи організаційної структури управління. При цьому під *бізнес-процесом* розуміють *сукупність різних видів діяльності, що разом створюють результат, який цінний для самої організації і для споживача.* Бізнес-процеси реалізуються за допомогою виконання бізнес-функцій.

**ДВ→** Існують такі різновиди бізнес-процесів:

- ✓ *основний*, на базі якого здійснюється виконання функцій поточного виробництва продукції (наданню послуг);
- ✓ *обслуговуючий*, на базі якого здійснюється забезпечення виробничої та управлінської діяльності організації;
- ✓ *внутрішній*, прикладом якого є розробка та впровадження на підприємстві системи якості;
- ✓ *зовнішній*, який орієнтований на споживача, що готовий платити за товари та послуги, тобто за результати бізнес-процесів

Управління бізнес-процесами може здійснюватися на двох рівнях:

1. У рамках кожного окремого бізнес-процесу.
2. У рамках групи бізнес-процесів на рівні всієї організації.

Основою управління при цьому є наступні *показники ефективності*:

- витрати на реалізацію бізнес-процесу;
- тривалість бізнес-процесу. ◀

**Принцип процесного підходу** втілюється в організації в таких діях і проявах, як:

- визначення процесу досягнення бажаного результату;
- встановлення та вимір “входу” і “виходу” процесу;
- узгодження процесу з функціями організації;
- оцінювання можливих ризиків;
- чіткий розподіл прав, повноважень, відповідальності та підзвітності в управлінні процесом;
- визначення внутрішніх і зовнішніх споживачів і постачальників, інших учасників процесу;
- концентрація уваги в процесі прийняття рішення на етапах процесу, потоках, засобах вимірювання, потребах у навчанні, обладнанні, методології, інформації, матеріалах та інших *ресурсах*, необхідних для досягнення бажаного результату.

На основі принципів процесного підходу організація повинна визначити процеси проектування, виробництва і постачання продукції або послуги. У підсумку, управління результатами процесу переходить в управління самим процесом.

Наступним етапом на шляху до TQM є оптимізація використання ресурсів у кожному виділеному процесі, що базується на строгому контролі над використанням всіх видів ресурсів і пошуку можливостей для зниження витрат на виробництво продукції (надання послуг).



**5. Принцип системного підходу до управління.** Управління взаємопов'язаними процесами, як системою, сприяє зростанню ефективності та результативності діяльності підприємства у досягненні цілей. При цьому організація розглядається як система взаємодіючих динамічних процесів, що потребує координації її діяльності в досягненні якісного продукту починаючи з процесу планування і доведення планів до кожного робочого місця.

В організації має місце ряд “ланцюжків якості” – взаємопов'язаних процесів, що включають в себе постачальників і споживачів. Розрізняють зовнішніх і внутрішніх постачальників. Наприклад, секретар-референт є постачальником по відношенню до свого начальника (для секретаря-референта важливо, задовольняються чи ні вимоги керівника до якості та термінів оформлення документації).

**Ефективність діяльності організації** можна підвищити за рахунок створення й управління системою взаємопов'язаних процесів. Це означає, що організація повинна прагнути до об'єднання процесів створення продукції або послуг з процесами, які дозволяють відстежити відповідність продукції або послуги потребам замовника.

**Принцип системності управління** втілюється в наступних діях і проявах:

- визначення системи шляхом встановлення процесів, що впливають на задані цілі;
- структуризація системи для досягнення мети оптимальним способом;
- розуміння взаємозалежності між процесами в системі;
- безперервне вдосконалення системи на базі оцінювання та атестації.

Тільки при системному підході до управління стане можливим ефективно використання зворотного зв'язку зі споживачем для формування стратегічних планів й інтегрованих в них планів з якості.

**6. Принцип перманентного вдосконалення** (від лат. *permanens* – постійний, неперервно продовжуваний). Незмінна основна мета – постійне покращення діяльності підприємства у цілому. Ця мета пов'язана з тим, що ніщо в світі не досконале і завжди потрібно намагатися сьогодні зробити виріб краще, ніж це було раніше.

Систематично поліпшуючи виробничі процеси можна знижувати ціни на товари (послуги), причому не за рахунок зниження доходів чи **демпінгу** (від англ. *dumping* – скидання) – *продаж товарів за штучно заниженими цінами*. Це досягається завдяки зростаючому розходженню між собівартістю та ціною.

Організація повинна не тільки відслідковувати виниклі проблеми, але і після ретельного аналізу з боку керівництва вживати необхідні коригувальні та запобіжні дії для запобігання повторного прояву таких проблем у майбутньому.

Цілі та завдання ґрунтуються на результатах оцінювання ступеня задоволеності замовника (отриманої в ході зворотного зв'язку) і на показниках діяльності самої організації.

**Поліпшення** має супроводжуватися участю керівництва в цьому процесі, а також забезпеченням всіма ресурсами, необхідними для реалізації поставлених цілей. Це досягається наступними діями:

- визначення (як мети кожного співробітника організації) безперервного вдосконалення продукції, процесів і систем;

- використання періодичного оцінювання замість встановлених критеріїв якості для визначення сфери (області) можливого вдосконалення;
- постійне підвищення продуктивності й ефективності всіх процесів;
- заохочення профілактичних дій;
- забезпечення всіх співробітників організації відповідним навчанням, методиками та інструментами безперервного вдосконалення, такими, як, наприклад, цикл Демінга, методи реінжинірингу, інші інноваційні методи;
- створення системи заходів для встановлення, відстеження та стимулювання поліпшень.

Постійне поліпшення починається з людини та її персональних якостей, а також з “середовища мешканця”, робочого місця, робочої зони.

Відповідно до *японської методології робочого місця*, яка має символічну назву “5S”, повинна бути гармонія (взаємопов’язаність) порядку навколо нас і порядку у наших думках:

- ❖ **Організованість** (Organization – англ., Seiri – япон.) – *видаляти непотрібне*, мінімізація кількості всіх речей, що оточують нас у процесі праці (тримати на робочому місці треба тільки ті речі, які необхідні щодня чи щогодини (наприклад, робочі креслення виробу).
- ❖ **Акуратність** (Accuracy – англ., Seiton – япон.) – здатність до ретельного аналізу поточного стану справ для виявлення шляхів і причин руху кожної речі. Наприклад, знаходити будь-який документ за 30 с. Для цього повинна бути забезпечена зручність доступу до документу, стандартизоване освітлення та зрозуміла ідентифікація (назва) документу.
- ❖ **Турбота про чистоту** (Cleanliness – англ., Seiso – япон.) – персональна відповідальність за дотримання чистоти, що є не тільки гігієною, але й необхідною та жорсткою умовою технологічного процесу (наприклад, при виготовленні мікросхем).
- ❖ **Стандартизація** (Standardization – англ., Salketiu – япон.) – діяльність, спрямована на досягнення впорядкування в певній галузі за допомогою встановлення положень для загального і багатократного вживання відносно реально існуючих та потенційних завдань. Стандартизація дозволяє кожен рух, дію, виробничу операцію довести до досконалості (навички). Це може проявлятися в діях по візуалізації, розмічанні деталі, простежуванні технологічного процесу тощо.
- ❖ **Дисципліна** (Discipline – англ., Shitsuke – япон.) – дотримання кожним працівником фірми вимог й обов’язків, що впливають з його місця у виробничому процесі, узгодження його діяльності з діями інших працівників, суворе дотримання внутрішнього трудового розпорядку, виробничих правил і функціональних обов’язків.

Таким чином, *методологія “5S”* спрямована на безупинне вдосконалювання працівників і навколишнього середовища, що є передумовою для вдосконалення бізнес-процесів.

Другим способом вказаного вдосконалення є *використання циклу Демінга* (Шухарта – Демінга). Японці вважають, що цикл Демінга (“*Планувати – Виконувати – Контролювати – Діяти*”) є основою боротьби з трьома “ворогами”: *втратами, невідповідностями та нераціональними діями*. Для досягнення успіху

в цій боротьбі необхідна структуризація набору систематизованих понять, відповіді на які допомагають критично оцінити стан ситуації та знайти альтернативи поліпшення якості виробу (послуги). Вказані поняття подані в табл. 6.2.

Як показав японський досвід, поліпшенню якості сприяє командна форма організації праці, зокрема, *гуртки якості*. Їх роль двояка: постійне підвищення якості продукції (послуг) і безперервне навчання працівників, яке виконує такі ключові функції:

- підвищення кваліфікації та професійної компетентності співробітників;
- надання роботі творчого характеру;
- згуртування команди;
- зниження втрат від неефективних, нераціональних, некваліфікованих дій.

Як результат безперервного навчання працівників є *знання*, яке може вважатися товаром коштовним, який користується попитом. Мається на увазі *об'єктивне знання*, яке отримується двояко (Б.Ф. Скіннер):

- від експерта, інструктора, викладача, більш досвідченого колеги або з книг, статей, Інтернету тощо (“*холодні знання*”);
- від перетворення особистого (персоніфікованого), або “*гарячого знання*”, яке накопичене у власній практичній діяльності, на власному досвіді і на власних помилках.

Таблиця 6.2

Систематизовані поняття [180]

<i>Питання мовами</i>		<b>Коментар</b>
<i>англійською</i>	<i>українською</i>	
What ?	Що ?	Що саме робиться у цьому процесі чи на цій операції ?
Why ?	Чому?, Навіщо ?	Навіщо це робиться ? Чи можна цього не робити ?
Where ?	Де?	Де це робиться ? Чи не краще робити це в іншому місці ?
When ?	Коли ?	Коли це робиться ? Може краще це робити раніше чи пізніше ?
Who ?	Хто?	Хто це робить ? Чи не варто доручити цю справу іншим людям ?
How ?	Як ?, Яким чином?	Як це робиться ? Чи все раціонально ? Чи не має зайвих рухів ?

**Зі знаннями пов'язані такі чотири концепції:**

- ❖ ***Концепція навчання та організації, що самостійно навчаються (самонавчання).*** Вказані організації побудовані на основі стандартів серії ISO 9000:2015. Самонавчання спричиняє радикальні зміни в організації, збільшує її дієвість й активність на ринку праці.
- ❖ ***Концепція інновацій та нової якості.*** Інновації – це запуск у виробництво конкурентоспроможної продукції та послуг, постійне впровадження технологічних нововведень, які дають вагомі конкурентні переваги та намічають подальші перспективи розвитку фірми (концерну, виробничого підприємства тощо).
- ❖ ***Концепція зв'язку науки і виробництва.*** Наукові дослідження та розробки є необхідною складовою прогресивного розвитку підприємств. При цьому наука з одного боку є інструментом добування й утилізації знань, що виникають

безпосередньо в ході виробництва, а з іншого боку забезпечує створення та впровадження інновацій. Належить виділити метод планування експерименту, який дозволяє вибрати число та умови проведення дослідів (експериментів), необхідних і достатніх для вирішення проблем дослідження із заданою точністю.

- ❖ **Управління знаннями.** Ця концепція відносно нова та ще не набула обриси загально визнаної в сенсі об'єктивного змісту. ◀

**7. Принцип прийняття рішень на підставі фактів.** Ефективні рішення приймаються тільки на основі аналізу достовірних даних й інформації. Джерелами таких даних можуть бути, наприклад, результати внутрішніх перевірок системи якості, рекламації та претензії споживачів і т. д. Крім цього, інформація може ґрунтуватися на аналізі пропозицій співробітників організації з приводу зниження витрат, підвищення продуктивності праці і т. д. Принцип фактичної обґрунтованості рішень простежується в таких проявах і діях організації, як:

- проведення вимірювань, збір цільових даних та інформації;
- забезпечення достатньо повними, достовірними і точними даними та інформацією;
- аналіз даних та інформації;
- розуміння значущості відповідних статистичних методів;
- прийняття рішень і виконання дій, що базуються на результатах логічного аналізу, співвідношення практичного досвіду та інтуїції.

**Вимірювання** відіграє ключову роль у процесі добування фактів для прийняття рішень, для побудови системи показників: 1) задоволеності клієнтів, тобто споживачів (покупців) продукції або послуг, 2) характеристик внутрішніх бізнес-процесів, 3) показників можливостей для навчання та зростання професійної компетентності персоналу і 4) фінансово-економічні показники.

З метою структурованого збирання, подання та первинного оброблення даних у Японії розроблено інструменти статистичного контролю якості, які крім *іманентної* ролі (від лат. *immanens* – властивий, внутрішньо притаманний), застосовуються як механізми прийняття рішень менеджерами.

До таких інструментів відносяться: контрольні листки, діаграми Парето, схеми Ісікави, гістограми, графіки, контрольні карти, стратифікація (розшарування) даних, метод “шість сигм”, CALS-технології і т. ін.

**ДВ→** Зазначимо, що **CALS-технології** з'явилися в останній чверті ХХ ст. у зв'язку з широким впровадженням систем автоматизованого проектування (САПР) та використання комп'ютерів для обробки і зберігання даних. Аббревіатура CALS (*Continuous Acquisition and Life Cycle Support*) дослівно означає безперервну інформаційну підтримку життєвого циклу продукції.

З метою зниження ризиків від прийняття неефективних управлінських рішень в рамках CALS-технології застосовують **метод аналізу на варіабельність процесу**. Якщо природа варіабельності статистична (є проявом розкиду, властивий динамічній системі, яка функціонує в довкіллі зі змінними параметрами), то результати (середня арифметична, медіана, вибіркова дисперсія і т. ін.) будуть відносно стабільні та передбачувані. У цьому випадку відхилення досліджуваних параметрів (показників) від еталонних можна розглядати як випадкові. Тому, у цьому випадку менеджер не приймає управлінських рішень.

У супротивному випадку, коли фіксується окрім природної варіабельності ще й інші збурення (наприклад, викликані неправильними діями персоналу), то приймається ефективні рішення зсередини для усунення неприродних відхилень або зовні, які змінюють саму систему.

Для пошуку еталонних показників діяльності фірми на початку 80-х рр. ХХ ст. був розроблений підхід, що одержав назву **бенчмаркінг** (від англ. *benchmarking* – опорна точка) – процес пошуку стандартного чи еталонного економічно ефективного підприємства-конкурента з метою порівняння з власним та переймання його найкращих методів роботи.

Вказаний процес пошуку може дати відповідь на запитання: *чому інші працюють успішніше, ніж ми?* Очевидно, що сама процедура бенчмаркінга являє собою певну технологію.

Об'єктами бенчмаркінгу можуть бути методи, процеси, технології, якісні та кількісні параметри продукції, показники фінансово-господарської діяльності, резерви зниження витрат виробництва та підвищення конкурентоспроможності продукції. ◀

**8. Принцип взаємовигідних відносин з постачальниками.** Взаємовигідні стосунки з постачальниками доцільно налагоджувати в цілях подальшого розширення можливостей діяльності організації. Традиційні відносини “постачальник – споживач”, який ґрунтується на низькоякісній та відносно дешевій сировині (матеріалів) виявилися “собі дорожче”, тому що її переробка та доведення до якісного стану суттєво веде до зростання собівартості продукції та послуг. З іншого боку не варто запроваджувати конкуренцію між постачальниками для зниження цін, тому що це може призвести до втрати перспективних постачальників.

Принцип підтримки взаємовигідних відносин з постачальниками реалізується в таких проявах і діях організації (фірми, концерну тощо), як:

- визначення і вибір ключових постачальників;
- встановлення відносин партнерства з постачальниками на основі балансу між короткостроковими цілями і довгостроковими планами як організації, так і суспільства в цілому;
- прагнення до постійних відносин з визначеними постачальниками;
- створення простих і відкритих взаємозв'язків;
- ініціювання спільного вдосконалення продукції і процесів;
- спільне однозначне визначення потреб споживачів;
- обмін інформацією та планами на майбутнє;
- визнання досягнень постачальників.

Практика показує, що кваліфіковане використання методології TQM забезпечує організації величезні переваги (рис. 6.6).

Перешкоди до впровадження методологію TQM є такі:

- ❖ Опір персоналу нововведенням.
- ❖ Обмежене розуміння менеджерами різних рівнів взаємозв'язку якості продукції з ефективністю діяльності організації.
- ❖ Підхід до вдосконалення якості як до разового заходу або до чергової новомодної кампанії.
- ❖ Надання удосконаленню якості статусу не управлінського, а статистичного заходу.
- ❖ Недостатній рівень корпоративної культури у менеджерів середньої ланки, їх кваліфікації та компетентності.

Підсумовуючи вище викладене, наведемо **основні складові концепції TQM** (докладний виклад є в джерелах [15; 94; 195; 196; 211; 212; 213; 214]):

- 1. Сім простих статистичних методів**, які в комплексі утворюють ефективну систему методів контролю й аналізу якості. Вони запропоновані на початку 50-х рр. ХХ ст. групою вчених й інженерів, під керівництвом Каору

Ісікави. До них відносяться такі методи: контрольний листок, причинно-наслідкова діаграма, діаграма Парето, гістограма, діаграма розкиду, розширення даних, контрольна карта.



Рис. 6.6. Переваги від використання фірмою методології TQM

2. **Розгортання функції якості** (Quality Functions Deployment, QFD), або метод “Модель Н. Кано”. Цей метод дозволяє вирішувати такі завдання: нормування вимог до якості; визначення технічних вимог у сфері надійності виробів; оптимізація значень показників якості; оцінювання технічного рівня та якості продукції; аналіз побажань споживачів стосовно співвідношення якості та ціни продукції; аналіз витрат споживачів під час експлуатації продукції і т. ін.
3. **Програма “Нуль дефектів” (Zero defects, ZD)** Ф. Кросбі (1964 р.). Ця програма базується на принципі допущення встановлення первинного прийнятого рівня дефектності, крім нульового, а також на таких концептуальних положеннях, як: перенесення уваги на попередження появи дефектів, а не їх виправлення; врахування якості діяльності не тільки основного виробництва, а й невиробничих підрозділів; визнання необхідності фінансового аналізу діяльності у сфері забезпечення якості; наявність перспективних планів підприємства у сфері підвищення якості продукції; вимогу споживача купувати тільки бездефектну продукцію і т. ін.
4. **Реінжиніринг (оновлення) процесів** (від англ. reengineering) – це радикальна перебудова основних виробничих процесів, технології та організації виробництва у відповідь на потреби споживачів до якості продукції чи послуг

(безпека продукції, споживча цінність, надійність, живучість, швидкість поставки і т. ін. ).

5. **Підтримання життєвого циклу продукції за допомогою CALS-технологій.** Сучасні інформаційні технології, програмні рішення для проектно-конструкторських робіт (САПР) дозволяють знизити трудомісткість, собівартість і збільшити якість готової продукції. Можливість реалізації стратегії CALS забезпечується міжнародними стандартами, зокрема ISO 10303, ISO 13584 та ін.
6. **Бенчмаркінг (benchmarking)** – це методологія (сукупність методів) пошуку найкращої сучасної практики (процесів, методів, підходів), яка дозволяє отримати якісну продукцію або послуги на передових підприємствах, виявити резерви її вдосконалення та перспективи розвитку.
7. **Концепція “Точно в термін” (Just in time, 1960 р.).** Концепція розроблена в Японії та має мету звести складування виробів до мінімуму, а саме: матеріалів – до моменту виготовлення деталей, окремих деталей – до моменту складання вузлів, складальних вузлів – до моменту складання готового виробу. Для цього використовуються два типи карток: *картка відбору* (вказується вид і кількість деталей, які мають надійти з попередньої ділянки) та *картка виробничого замовлення* (вказується вид, кількість продукції, яка має бути виготовлена на попередній технологічній стадії). Така організація виробництва сприяє оперативному виявленню браку, а споживач одержує продукцію меншої вартості (немає затрат на довгострокове складування) та більш високої якості.
8. **Методи технічного проектування якості (метод Taguchi, Taguchi method).** Цей метод складається з таких чотирьох універсальних етапів [94; 155]:
  - 1) *перший етап структурного (низхідного) проектування*, який спрямований на створення базового прототипу з урахуванням досягнень науки і техніки (синтез структури, створення моделі виробу, вибір агрегатів, вузлів, матеріалів тощо);
  - 2) *параметричний синтез*, тобто вибір вихідних значень параметрів елементів виробу, оптимізація параметрів відповідно до стратегії пошуку найкращого значення деякого показника якості виробу;
  - 3) *раціоналізація за критерієм робастності*, тобто забезпечення виробу, як технічній системі, стійкості до зовнішніх впливів. У загальному випадку, **робастність** – це ступінь здатності системи відновлюватися в разі виникнення помилкових ситуацій як зовнішнього, так і внутрішнього походження (наприклад, помилок у вхідній інформації або несправності певних елементів системи);
  - 4) *допускові фази проектування*, суть яких полягає у встановленні економічно виправданих допусків.
9. **Аналіз видів і наслідків потенційних відмов (Analysis of Species and the Effects of Potential Failures, ASEPF).** Методологія ASEPF покликана виявляти найбільш критичні кроки виробничих процесів з метою управління якістю продукції. У цьому зв'язку, ASEPF має опис процедур аналізу в процесі проектування конструкції виробу та розробки технології. Основними стадіями

ASEPF є підготовка, аналіз потенційних відмов чи дефектів, оцінювання ризиків, визначення заходів, перевірка результатів.

**10. Групи якості** – це громадські об'єднання працівників підприємства, які створені з метою виявлення, вивчення, вирішення практичних завдань підвищення ефективності виробництва та якості продукції.

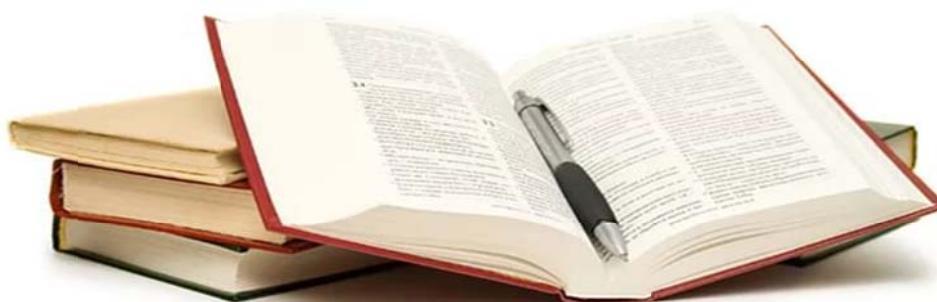
**11. Формування корпоративної культури**, тобто сукупності моделей поведінки, які набуті підприємством в процесі адаптації до змін зовнішнього та внутрішнього середовища, поділяються переважною більшістю працівників як система цінностей і переконань.

## Контрольні запитання

№ з/п	Контрольні запитання	№ з/п	Контрольні запитання
1.	Школи управління: школа наукового управління.	32.	Що таке економіко-математичний підхід ?
2.	Школи управління: класична (адміністративна) школа.	33.	Що таке філософія організації ?
3.	Школи управління: школа людських відносин.	34.	Три етапи розвитку TQM.
4.	Що таке біхевіоризм ?	35.	Принципи, на яких базується концепція TQM: орієнтація на споживача.
5.	Школи управління: школа поведінкових наук.	36.	Принципи, на яких базується концепція TQM: головної ролі керівництва.
6.	Школи управління: школа економіко-математичного (кількісного) підходу.	37.	Принципи, на яких базується концепція TQM: залучення співробітників у діяльність з управління якістю.
7.	Вирішення проблеми якості в давнині.	38.	Принципи, на яких базується концепція TQM: процесного підходу.
8.	Вирішення проблеми якості в системі Тейлора.	39.	Принципи, на яких базується концепція TQM: системного підходу.
9.	Вирішення проблеми якості статистичними методами.	40.	Принципи, на яких базується концепція TQM: перманентного вдосконалення.
10.	Вирішення проблеми якості в методі контрольних карт.	41.	Принципи, на яких базується концепція TQM: прийняття рішень на підставі фактів.
11.	Вирішення проблеми якості в концепції Е. Демінга.	42.	Принципи, на яких базується концепція TQM: взаємовигідних відносин з постачальником.
12.	Вирішення проблеми якості в концепції TQC.	43.	Принципи Г. Емерсона.
13.	Вирішення проблеми якості в концепції Дж. Джурана.	44.	Принципи управління підприємством А. Файоля.
14.	Вирішення проблеми якості в концепції Ф. Кросбі.	45.	Проаналізувати метод концепції TQM: сім статистичних методів.
15.	Вирішення проблеми якості в концепції TQM.	46.	Проаналізувати метод концепції TQM: розгортання функцій якості. програма «Нуль дефектів».
16.	Вирішення проблеми якості в концепції ISO-9000.	47.	Проаналізувати метод концепції TQM: реінжиніринг процесів.



17.	Що таке парадигма ?	48.	Проаналізувати метод концепції TQM: підтримання життєвого циклу продукції за допомогою CALS-технологій.
18.	Розвиток наукового знання за К. Поппером.	49.	Проаналізувати метод концепції TQM: бенчмаркінг.
19.	Об'єкт і суб'єкт управління якістю.	50.	Проаналізувати метод концепції TQM: концепція «Точно в термін».
20.	Об'єкт менеджменту якості.	51.	Проаналізувати метод концепції TQM: методи технічного проектування якості.
21.	Історичні етапи розвитку управління якістю.	52.	Проаналізувати метод концепції TQM: аналіз видів і наслідків потенційних відмов.
22.	Що таке статистичний контроль якості ?	53.	Проаналізувати метод концепції TQM: групи якості.
23.	Що таке контрольні карти ?	54.	Проаналізувати метод концепції TQM: формування корпоративної культури.
24.	Що таке комплексне управління якістю ?	55.	Японська методологія робочого місця "5S".
25.	Що таке загальний контроль якості ?	56.	Що таке CALS-технології ?
26.	Що таке середовище, як етап якості ?	57.	Метод аналізу на варіабельність процесу.
27.	Що таке TQM ?	58.	Що таке бенчмаркінг ?
28.	Які цілі TQM ?	59.	Теорема Р. Калмана.
29.	Які етапи розвитку TQM ?	60.	Переваги використання фірмою технології TQM.
30.	Які фактори впливають на досягнення цілей TQM ?	61.	Які недоліки має концепція TQM ?
31.	Перерахувати принципи, на яких базується концепція TQM ?	62.	Які можливі перспективи розвитку концепції TQM ?



---

## Розділ 7. МОДЕЛІ, ПРИНЦИПИ, МЕТОДИ ТА СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ

---



*Великі відкриття, стрибки наукової думки вперед створюються інтуїцією, ризикованим, воістину творчим методом. Нові ери в науці завжди починалися зі змін, що вносяться в уявлення і постулати, які раніше служили основою для дедуктивного міркування”*  
Луї де Бройль

---

### 7.1. Моделі управління якістю

---

Управління якістю продукції. Об’єкт і суб’єкт управління. Найпростіша модель управління якістю. Основні поняття функціонування якості. Блочно-структурна модель управління якістю.

Нагадаємо читачам, що *модель* – система, що замінює об’єкт дослідження (оригінал) та служать джерелом інформації стосовно нього. Для введення найпростішої моделі управління якістю сформулюємо деякі означення:

- ❖ *Управління якістю продукції (УЯП)* – це один із аспектів управління підприємством (стандарт ISO 9000, п.3.2).
- ❖ *Управління якістю (УЯ)* – це вплив на процес створення та експлуатації продукції з метою забезпечення її якості (стандарт ISO 9004).
- ❖ *Об’єктом УЯП* – є виробничий процес, в якому при створенні продукції формується її якість.
- ❖ *Суб’єкт УЯП* – система якості як інструмент управління (див. рис. 7.1).

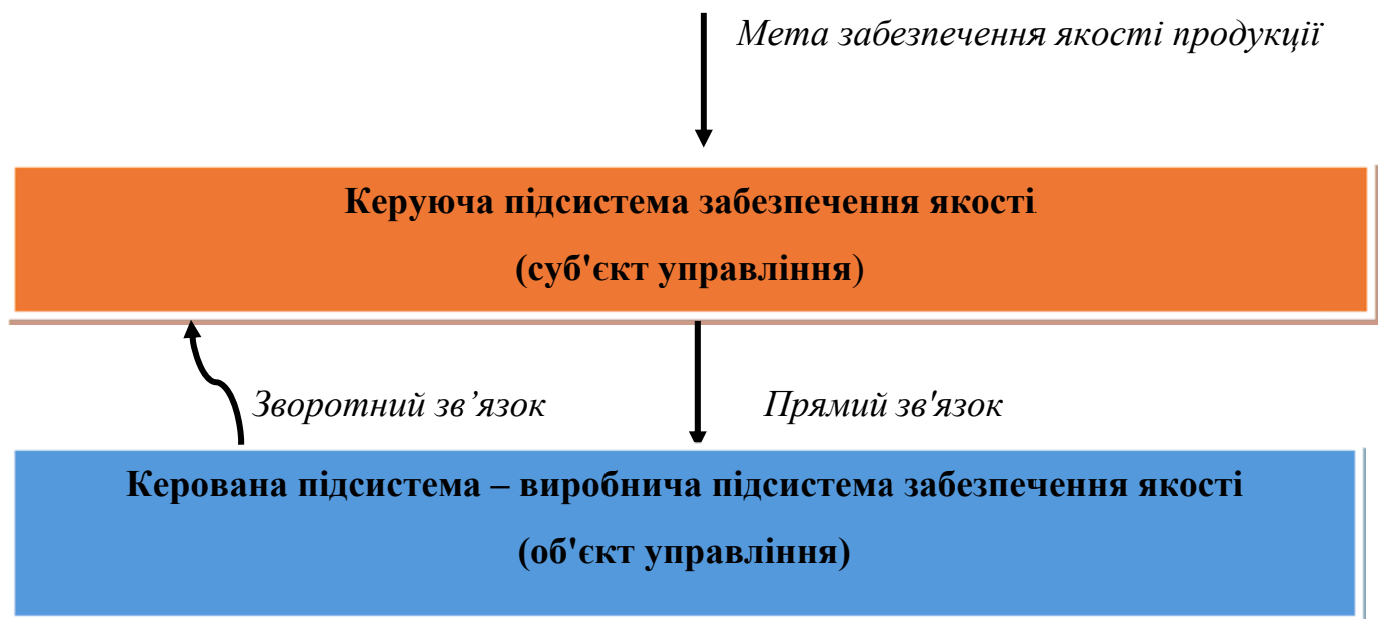


Рис. 7.1. Найпростіша модель управління якістю

На рис. 7.2. зображена загальна модель управління якістю.

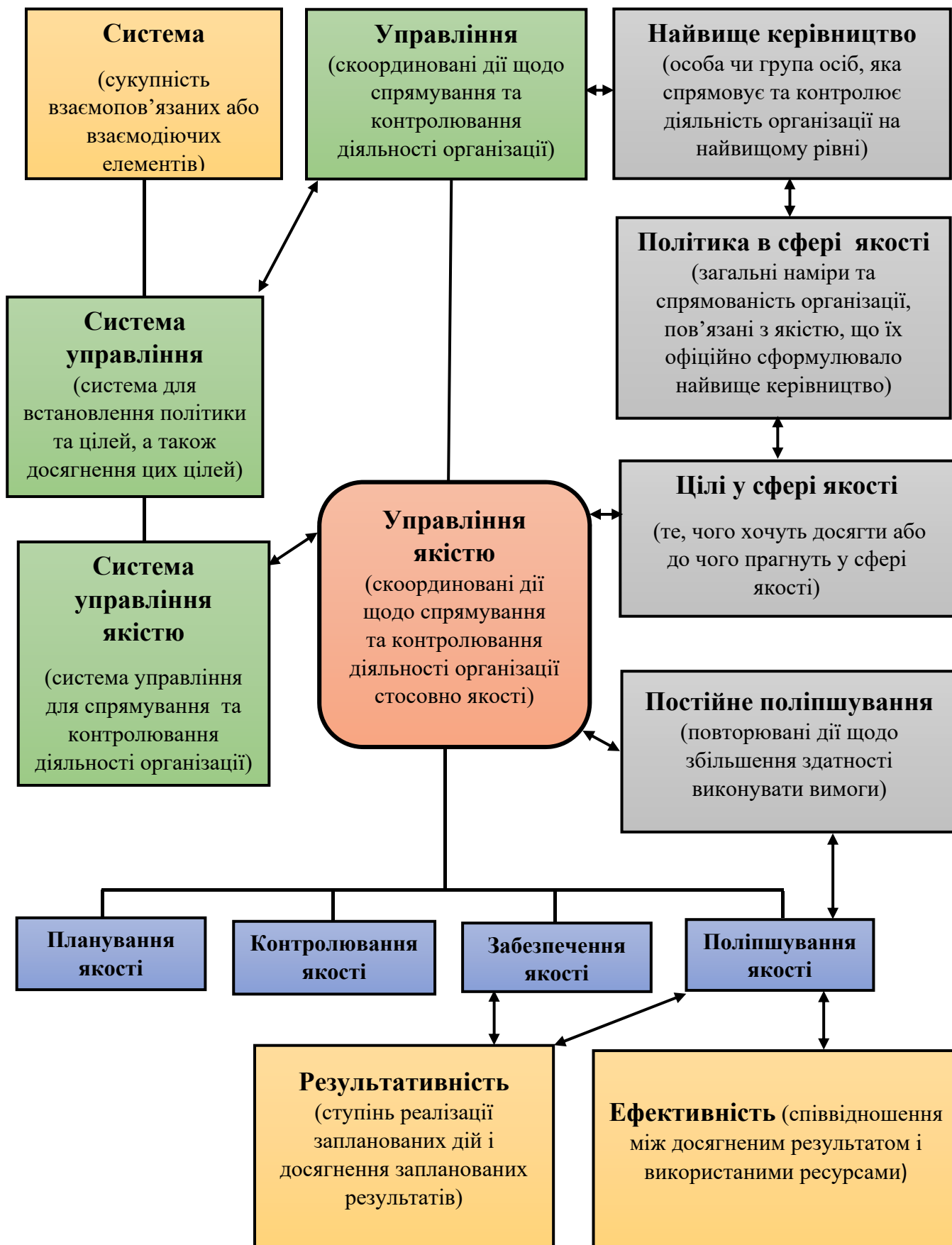


Рис. 7.2. Загальна блочно-структурна модель управління якістю

Як бачимо, загальна модель управління якістю має відносно більш складнішу структуру ніж проста модель. Ця модель відповідає ДСТУ ISO 9000-2015.

Розкриємо сутність чотирьох *взаємозв'язаних понять функціонування якості*, які є складовими частинами моделі управління якістю.

Основними частинами, на яких зосереджено управління якістю, є:

- 1) встановлення цілей у сфері якості та визначення операційних процесів і відповідних ресурсів, необхідних для досягнення цілей у сфері якості – це *планування якості* ;
- 2) виконання вимог щодо якості – це *контролювання якості*;
- 3) створення впевненості в тому, що вимоги до якості буде виконано – це *забезпечення якості*;
- 4) збільшення здатності виконати вимоги до якості – це *поліпшування якості*.

---

## 7.2. Принципи вдосконалення якості

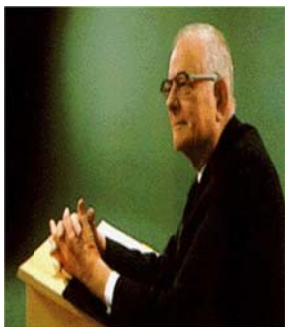
---

Принципи, які лежать в основі концепцій якості. Принципи Е. Демінга. Принципи Дж. Джурана. Схема безперервного поліпшення якості за Дж. Джураном. Принципи Ф. Кросбі. Чинники П. Берха досягнення загальної якості. Концепція Г. Тагуті з статистичного контролю якості. Показник виконавчої здатності. Втрати суспільства відносно якості продукту. Порівняльний аналіз принципів концепцій якості.

---

Нагадаємо читачам, що *принцип* є твердженням, яке сприймається як головне, важливе, суттєве, неодмінне або, принаймні, бажане. У науці принципи – це загальні вимоги до побудови концепції або теорії, сформульовані як те первинне, що лежить в основі певної сукупності фактів. При охарактеризуванні різноманітних систем, принципи відображають ті суттєві характеристики, що відповідають за правильне функціонування системи, без яких вона не виконувала б свого призначення.

Розглянемо принципи, що сформульовані фундаторами (засновниками, основоположниками) теорії якості, які лежать в основі основних концепцій якості.



**Вільям Едвардс Демінг** (William Edwards Deming, 1900-1993), відомий американський учений, статистик і консультант з менеджменту. На науково-виробничому семінарі в м. Токіо в 1950 р. перед керівниками 45 найбільших компаній Японії Е. Демінг виголосив таке: *“Слухайте мене, і через п'ять років ви будете конкурувати з Заходом. Продовжуйте слухати доти, поки Захід не буде просити захисту від вас”*.

Ці слова виявилися пророчими: на початку 1960-х рр. Японія піднялася на передові позиції у світі в ряді галузей промисловості, а через деякий час весь світ став говорити про *японське чудо*, захоплюючись їм до теперішнього часу.

Ідею перетворення *Е. Демінг* виклав в 14-и принципах управління (вдосконалення) якості [51]:

**1. Постійною метою підприємства повинно бути підвищення якості випуску продукції та надання послуг .**

**ДВ→** Поліпшення якості продукції та послуг має здійснюватися не епізодично, а безперервно і планомірно, стати однією з найважливіших завдань виробника. При цьому

необхідно забезпечити: раціональне розміщення ресурсів; задоволення довгострокових потреб; конкурентоспроможність продукції; нарощування бізнесу; зайнятість і створення нових робочих місць. ◀

## **2. Прийняти нову філософію: відмовтеся від низької якості у всьому.**

**ДВ→** Для підвищення якості продукції та послуг необхідно засвоїти нову філософію, яка полягає в абсолютній *непринципності невідповідностей*: не можна далі жити зі сформованою системою запізнь, простоїв, відставання, помилок, дефектів матеріалів і недосконалістю робочої сили; необхідно змінити стиль управління для зупинки спаду в економіці; постійно покращувати якість всіх систем, процесів, діяльності всередині компанії. ◀

## **3. Виключити залежність від контролю якості.**

**ДВ→** Усуньте потребу в масових перевірках, перш за все вбудовувавши якість в продукцію. Відмовтеся від повсюдного контролю. Для цього слід усунути масові інспекції як спосіб досягнення якості. Досягти цієї мети виробник може тільки за умови, якщо питання якості стоять для нього на першому місці і він має постійну інформацію про його рівні, застосовуючи статистичні методи контролю якості при виробництві та закупівлі. Важливо виключити дефекти до їх появи. ◀

## **4. Припинити практику укладання контрактів на основі низьких цін.**

**ДВ→** Відмовтеся від партнерства, заснованого тільки на ціні продукції; ціна не має сенсу без оцінки якості товару. Припинити практику закупівлі матеріалів та комплектуючих, орієнтуючись тільки на низьку ціну. Зменшіть кількість постачальників. При укладанні контрактів має бути проведено всебічне оцінювання відповідності продукції своєму призначенню, а також врахована репутація постачальника. Вибирати одного постачальника для поставок одного виду продукції. Встановіть довгострокові партнерські відносини на основі довіри та відданості вибору. Постаратися спільно з постачальником знижувати загальні витрати. ◀

## **5. Постійно покращувати систему, вдосконалювати кожен процес.**

**ДВ→** Постійне і безперервне поліпшення системи планування, виробництва й обслуговування передбачає оперативне вирішення виникаючих проблем; постійне поліпшення якості та підвищення продуктивності. Результатом поліпшення системи є постійне зниження витрат на вихідні матеріали, проекти та покращення застосовуваного обладнання, а також перепідготовку та навчання персоналу. Поліпшення системи передбачає прогрес в організації постійного спостереження за процесами безперервного виробництва та контролю якості з метою поліпшення роботи кожної ділянки. Проблеми необхідно попереджувати, а не чекати на їх появу. ◀

## **6. Навчати на робочому місці.**

**ДВ→** Для навчання безпосередньо на робочому місці необхідно ввести сучасні методи підготовки і перепідготовки на робочих місцях для всіх, включаючи управлінський персонал. Особлива увага має надаватися статистичним методам регулювання технічних процесів. Акцент треба робити на використання можливостей кожного працівника. ◀

## **7. Завпроваджувати нові методи керівництва.**

**ДВ→** Мається на увазі заснування інституту керівництва з метою надання допомоги персоналу у вирішенні поставлених завдань. Сприяти двостороннього зв'язку між керівництвом і підлеглими для підвищення ефективності та продуктивності праці. Допомога підлеглим в їх професійному вдосконаленню та виявленню лідерських якостей. Впроваджуйте сучасні методи керівництва: функції управління повинні зміщуватися від контролю кількісних показників до якісних. ◀

## **8. Викорінити страх.**

**ДВ→** Працівник фірми не повинен боятися змін в його роботі, а прагнути до них. Необхідно розвивати двосторонні зв'язки між працівниками та керівниками, викорінювати побоювання та ворожість всередині колективу, щоб кожний міг працювати продуктивно в інтересах підприємства. В організації має панувати суворя, але вільна від погроз і незрозумілих дій, атмосфера. Усуньте страх: сприяйте тому, щоб співробітники висловлювались відкрито. ◀

## **9. Усуньте бар'єри між підрозділами та співробітниками організації.**

**ДВ→** Мається на увазі усунення бар'єрів між відділами і групами персоналу. Кадри, що працюють в різних структурних підрозділах (підготовки виробництва, виробництва та збуту), повинні сприйматися як єдина команда. Кожен працівник повинен думати і намагатися задовольнити на своєму робочому місці не тільки вимоги споживача продукції фірми, а й споживача результатів своєї роботи на даному виробництві. Тільки в цьому випадку вимога безперервного забезпечення якості може виконуватися. Розвитку інтеграції сприяє використання автоматизованих інформаційних систем, які забезпечують доступ до інформації всіх членів організації, що дає можливість кожному працівнику сприймати свою організацію як єдине ціле. ◀

## **10. Уникати порожніх гасел, лозунгів, закликів, транспарантів і настанов для робітників не підкріплених відповідними діями та засобами.**

**ДВ→** Не закликати до підвищення якості, без урахування способів його досягнення. Порожні гасла, як би привабливі вони не були, мають певний ефект протягом короткого часу і потім забуваються. У той же час більшість дефектів і як результат – низька якість мають місце не тому, що працівник не хоче добре виконати роботу, а тому, що існуюча на фірмі система (зацікавленість, час виконання роботи, відповідальність і т. д.) не дозволяє йому виконати свою роботу якісно. Основні причини випуску неякісної продукції варто шукати не в робочій силі, а в організації виробництва. ◀

## **11. Виключити цифрові квоти для управління роботою.**

**ДВ→** Цифрові квоти характерні для відрядної роботи, при якій розмір винагороди прямо пропорційний обсягу виконаної роботи. У той же час норма на відрядну роботу встановлюється як середній час її виконання. Тому половина робітників її виконує швидко і потім відпочиває, в той час як інша половина буде запізнюватися з її виконанням і продовжувати працювати. Це не може створити нормальний клімат у колективі, а тому відрядна робота знижує продуктивність. Окрім цього, при відрядній роботі більшість співробітників зайнята вивченням конкретних операцій, вимірами часу їх виконання, встановленням норми (в цифрах) на відрядну роботу. Було б краще використовувати цю категорію людей на конкретній роботі в процесі виготовлення продукції, а процес перетворити таким чином, щоб відрядна система була замінена системою, що забезпечує зростання якості та продуктивності в колективі, що працює як єдина команда. ◀

## **12. Дати можливість пишатися приналежністю до компанії.**

**ДВ→** Усунути бар'єри перед почуттям гордості за роботу. Дуже важко мати почуття гордості за свою роботу, якщо продукція, що випускається фірмою, не користується гарною репутацією або працівник не може впливати на робочу ситуацію. Окрім цього, працівник може пишатися власною кваліфікацією і компетентністю, якщо реально відчуває свій внесок у загальну справу. При цьому виконання ним навіть простих завдань набувають значущості, якщо їх розглядати з погляду успіху організації в цілому. Підтримуйте почуття професійної гордості в співробітниках. ◀

## **13. Заохочувати освіту і самовдосконалення.**

**ДВ→** Просування по службових сходах (кар'єрне просування) має визначатися рівнем знань та навичок. Тому працівникам потрібно допомагати в цьому, даючи можливість удосконалюватися. Впровадьте в організації систему освіти та вдосконалення співробітників. ◀

## **14. Залучити кожного в роботу з перетворення організації (компанії, підприємства, фірми).**

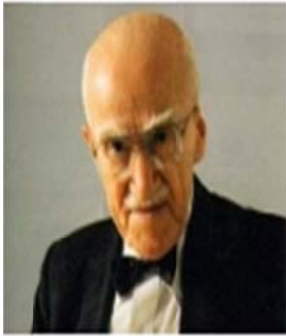
Висока якість закладається в кабінеті керівника організації та його помічників. Одним з головних умов успіху в процесі досягнення якості є переконаність керівництва в необхідності цього. Воно повинно щодня приймати участь у процесі підвищення якості та продуктивності. Найвище керівництво повинне діяти, а не обмежуватися тільки підтримкою з боку колег і робітників. Досягніть прихильності керівництва організації ідеї якості.



Реорганізацію бізнесу слід починати з освоєння кожного з 14 пунктів і боротьби зі “смертельними хворобами”, яким, на думку Е. Демінга, схильне більшість компаній в західному світі. До цих “хвороб” відносяться:

- відсутність сталості цілей;
- гонитва за миттєвою вигодою;
- системи атестації та ранжирування персоналу;
- безглузда ротація керуючих кадрів;
- використання тільки кількісних критеріїв для оцінки діяльності компанії.

**Висновок: Е. Демінг у першу чергу основну увагу зосередив на покращенні якості застосовано до процесів і систем.**



**Джозеф Мозес Джуран (Joseph M. Juran, 1904-2008)**, американський економіст, харизматична особистість і легенда свого часу. На відміну від концепції Е. Демінга, Джозеф М. Джуран основну увагу приділив залученості персоналу в процедури, що забезпечують високу якість. Всесвітнє визнання він отримав за величезний внесок в теорію управління якістю, автор концепції “**Щорічне поліпшення якості**” (*Annual Quality Improvement, AQI*). Поліпшення якості, вважає Дж. Джуран, – це перевищення вже досягнутих результатів роботи в галузі якості,

пов’язане з прагненням людини встановити новий рекорд. У філософії менеджменту безперервне поліпшення означає, що на зміну політиці стабільності приходить політика змін.

Головну увагу в концепції AQI зосереджується на стратегічних рішеннях, більш високій конкурентоспроможності та довгострокових результатах.

Основними **принципами вдосконалення якості, які запропоновані Джураном**, є такі [53]:

1. Створення організації, здатної ефективно працювати над досягненням цілей, сформувавши команди і вибравши координаторів.
2. Перехід від адміністрування (наказів зверху) до планомірного управління всією діяльністю в галузі якості, включаючи вдосконалення адміністративної діяльності.
3. Планування керівництвом поліпшення якості на всіх рівнях і у всіх сферах діяльності підприємства.
4. Розроблення комплексу заходів, який передбачає складання щорічної програми поліпшення якості.
5. Встановлення цілей для постійного вдосконалення діяльності.
6. Формування усвідомлення потреби в якісній роботі та створення можливостей для поліпшення якості.
7. Виконання проектів для вирішення проблем.
8. Розробка заходів, спрямованих на виключення і попередження помилок в галузі управління якістю.
9. Перехід від контролю якості до управління якістю.
10. Інформування співробітників організації про результати та досягнуті успіхи.
11. Реєстрація досягнень.

12. Впровадження та закріплення досягнень, які вдалося домогтися за рік, в системи і процеси, що постійно функціонують в організації.
13. Висловлювання визнання співробітникам, які зробили найбільший внесок у поліпшення якості.
14. Надання можливості навчання всім співробітникам організації.

З метою реалізації концепції AQI в організації розробляється комплекс заходів, який передбачає:

- складання щорічної програми поліпшення якості;
- удосконалення організації робіт в адміністративній сфері;
- планування витрат на забезпечення якості товарів і послуг;
- розроблення методів поліпшення якості;
- розроблення інструментарію та методики вимірювання й оцінювання параметрів якості;
- навчання статистичним методам та їх впровадження у практику.

Дж. Джуран вперше класифікував витрати на забезпечення якості, виділивши чотири групи основних витрат: попереджувальні витрати, оціночні витрати, витрати внаслідок внутрішніх відмов і витрати зовнішніх відмов. Цим він сформулював основи економічного підходу до забезпечення якості.

За концепцією Дж. Джурана, еволюція якості вбачається в безперервному поліпшенні з “фазами прориву”, де рівень якості  $x$  змінюється з плином часу за рівномірним законом  $\frac{dx}{dt} = const$ , і з “фазами стабілізації”, де рівень якості незмінний, тобто  $x = const$ . Безперервне поліпшення, за Джураном, подібне рухові вгору сходами: кожний прорив у поліпшенні завершується фазою стабілізації, тобто утриманням досягнутих результатів і попередженням регресій, де поняття “регресія” розуміється в первісному значенні “*regressio*” – рух назад (рис. 7.3).

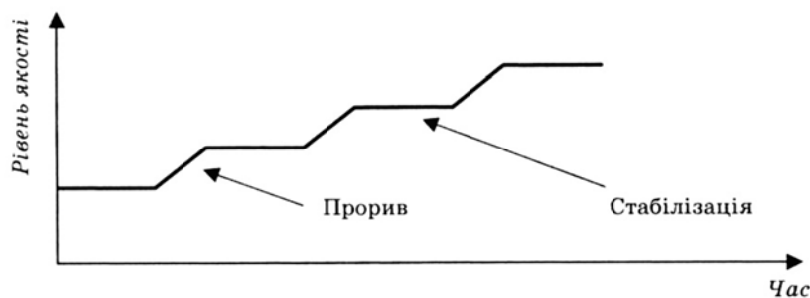


Рис. 7.3 . Схема безперервного поліпшення якості за Джураном



**Філіп Кросбі (Philip Crosby)** (1926-2001) – один з визнаних у світі американських фахівців у сфері якості. Найбільшу популярність він отримав у 1964 р. за популяризацію своєї концепції (програми) “*Нуль дефектів*” (“*Zero Defect*”, “*ZD*”). У 1979 р. Ф. Кросбі опублікував книгу “Якість безкоштовно”, яка стала бестселером [121]. У книзі Кросбі доводить, що підвищення якості не вимагає великих витрат, так як підвищення якості одночасно підвищує і продуктивність праці, оскільки одночасно знижується багато статей витрат, пов’язаних з усуненням виявлених



дефектів, з переробкою неякісної продукції, запобіганням повернення продукції споживачем і т. д. З цього виходить, що виробникові доводиться платити не за якість, а за її відсутність, що має бути предметом постійного контролю й аналізу. Звідси знаменитий афоризм Ф. Кросбі “*За якість не платять*”.

Найбільш широку популярність здобули 14 принципів Ф. Кросбі, що визначають послідовність дій щодо забезпечення якості на підприємствах.

#### **Принципи Ф. Кросбі :**

1. Чітке визначення прихильності керівництва організації до ідеї якості, а також їх відповідальності у прийнятті рішень.
2. Сформуванню команду, яка буде втілювати в життя програму забезпечення якості.
3. Визначення методів оцінювання якості на всіх етапах її формування, а також поточних і потенційних проблем з якістю.
4. Організувати облік і визначення вартості витрат на забезпечення якості.
5. Визначення вартості неякісної роботи і доведення цієї інформації до підлеглих.
6. Довести до всіх працівників підприємства політику керівництва в області якості, домагатися свідомого ставлення персоналу до якості.
7. Впровадити програму бездефектного виготовлення продукції (систему “нуль дефектів”).
8. Розробити процедури коригувальних дій при забезпеченні якості.
9. Мотивація персоналу до встановлення персональних цілей, які припускають поліпшення якості.
10. Розробити процедури, що усувають причини дефектів.
11. Створення цільової групи (спеціального комітету), яка складається з професіоналів в області якості, з метою впровадження програми “нульового браку”.
12. Організувати постійне навчання персоналу в області якості.
13. Стимулювання підлеглих до повідомлень про проблеми, що не дозволяють їм працювати без браку, моральне заохочення працівників, які відмінно виконують роботу та виконують вимоги в галузі якості.
14. Регулярно проводити Дні якості (дні “нульового браку”, дні “нульових дефектів”) для пояснення програми і відношення організації до проблеми якості.

Далі починати все з початку (повторити цикл дій на більш високому рівні виконання).

**Програма “Нуль дефектів”** будується на таких **концептуальних положеннях**:

- перенесення уваги на попередження появи дефектів, а не їх виявлення і виправлення;
- спрямування зусиль на скорочення рівня дефектності на виробництві;
- усвідомлення факту, що споживач потребує якраз бездефектної продукції і що виробник може і повинен таку продукцію забезпечити;
- усвідомлення необхідності для керівництва підприємства ясно сформулювати цілі у сфері підвищення якості на тривалий період;

- розуміння того, що якість роботи компанії визначається не тільки якістю виробничих процесів, а й якістю діяльності невиробничих підрозділів (діяльність таких підрозділів розглядається як надання послуг);
- визнання необхідності фінансового аналізу діяльності у сфері забезпечення якості.

Основою успіху вказаної програми став **принцип допущення встановлення будь-якого первинного прийняттого рівня дефектності, крім нульового.**

Аналіз спільних рис у наведених вище наукових підходах дозволив **Джону Реббіту і Пітеру Бергху виділити сім успішних чинників досягнення загальної якості:**

1. Орієнтація на споживача.
2. Орієнтація на процес і його результати.
3. Управління участю в праці та відповідальністю.
4. Безперервне поліпшення (вдосконалення).
5. Проблеми, які залежать від працівників (робітників), повинні складати не більше 20%;
6. Проведення вимірювань.
7. Командна організація роботи щодо поліпшення якості (постійно діючі наскрізні функціональні Ради з поліпшення якості).

Розглянуті вище наукові підходи (Демінга, Джурана, Кросбі) з вдосконалення якості можна порівняти за висунутими в них принципами (табл. 7.1).

Таблиця 7.1

Порівняльний аналіз наукових принципів у підходах управління якістю [175]

№ з/п	Принципи концепцій якості	Підхід Демінга	Підхід Джурана	Підхід Кросбі
1.	Цілепокладання при постійному вдосконаленні якості	+	+	+
2.	Прихильність вищого керівництва ідеї постійного поліпшення якості	+	-	+
3.	Командна робота над вдосконаленням якості	-	+	+
4.	Навчання персоналу	+	+	+
5.	Інформування про якість всіх співробітників організації	-	+	+
6.	Заохочення відмінно працюючих співробітників	+	+	+
7.	Оцінка якості та інформування співробітників про результати	-	+	+
8.	Зниження залежності від інспекції	+	-	-
9.	Проектна організація робіт	-	+	-
10.	Програма «нульового браку»	-	-	+
11.	Вартісна оцінка якості	-	-	+

Із таблиці 7.1 випливає, що в 63 % випадків співпадають принципи вдосконалення якості в авторських концепціях Демінга, Джурана і Кросбі, причому повністю співпадають у 27 %, а частково – у 36 %.

Вищевикладені принципи увійшли в основу концепції управління якістю – **концепції загального (тотального) управління якістю (Total Quality Management, TQM)**, яка розроблена в 1951 р. А. Фейгенбаумом [197].



**Арманд Веллін Фейгенбаум** (Armand Vallin Feigenbaum, 1922-2014) – всесвітньо відомий американський фахівець, автор концепції загального контролю якості (Total Quality Control, TQC), яка пізніше стала відомою як концепція загального управління якістю (Total Quality Management або TQM) – загально-організаційний метод безперервного підвищення якості всіх організаційних процесів. Концепція Фейгенбаума лежить в структурі менеджменту, зокрема підходу “управління за допомогою цілей” (*Management by Objectives, MBO*). Вказана концепція базується на побудові та подальшій реалізації структурованої системи цілей, тобто “*дерева цілей*”. А. Фейгенбаум першим вже на початку 50-х рр. минулого століття висунув цілісний (так званий холістичний), системний підхід до процесу формування якості, усвідомивши його комплексний характер.

З позицій системного підходу А. Фейгенбаум одним з перших звернув увагу на взаємозв'язок якості та ефективності виробництва. Підкреслюючи взаємозв'язок якості та ефективності, А. Фейгенбаум пише, що “якість – найбільш економічний і найменш капіталомісткий шлях до досягнення ефективності” [197, с. 285].

Розуміючи необхідність підрахунку витрат на забезпечення якості та їх скорочення, саме А. Фейгенбаум в кінці 50-х років запропонував широко відому в усьому світі їх класифікацію. Він розділив **витрати на три категорії** :

1. **Перша категорія** – превентивні витрати (prevention costs). Витрати на розробку і планування програм, спрямованих на поліпшення якості, на досягнення оптимального рівня контролю та попередження ситуацій, що призводять до виникнення дефектів (невідповідностей).
2. **Друга категорія** – витрати на оцінювання якості (appraisal costs). Витрати на проведення технічного контролю і випробувань на всіх етапах виробництва продукції (або процесу надання послуг) з метою встановлення відповідності показників якості виготовленої продукції (послуг), що пред'являються.
3. **Третя категорія** – втрати від браку, тобто невідповідностей (*failure costs*). Ці втрати А. Фейгенбаум розділив на внутрішні і зовнішні.

Внутрішні втрати від браку (невідповідностей) – втрати, що виникають на самій фірмі в процесі виробництва (або в процесі надання послуг), внаслідок невідповідності показників якості продукції (послуг), що пред'являються.

Зовнішні втрати від браку (невідповідностей) – втрати, що виникають в процесі експлуатації виробу споживачем (продукцію вже використовують або надання послуг), внаслідок невідповідності показників якості встановленим вимогам.

Таким чином, внесок А. Фейгенбаум в науку і практику управління якістю неможливо переоцінити і перш за все, то що він є автором концепції загального (комплексного) управління якістю (TQM).



**Уолтер Ендрю Шухарт** (Walter Andrew Shewhart, 1891-1967), всесвітньо відомий американський вчений і консультант з теорії управління. У 1924 році запропонував метод виявлення відступів від норми і тенденцій виникнення помилок до появи неякісного продукту (**метод контрольних карт**), який зробив революцію в методах управління. Контрольні карти мали межі, що позначають поле, всередині якого розміщуються значення параметра процесу, якщо він знаходиться в керованому стані. Вихід за границі контрольних меж означав, що процес вийшов з керованого стану під впливом особливих причин, які необхідно виявити й усунути. Багато в чому завдяки розробці Шухарта була реалізована статистична концепція “Шість сігм”. Спільно з Е. Демінгом було запропоновано модель ефективного управління “Цикл Шухарта-Демінга”. Будучи співробітником лабораторії Белла, що винайшов телефон, Шухарт у 1924 р. розробив **концепцію статистичного управління процесами**, в якій головна увага приділялася запобіганню дефектів замість їх виявлення.

**ДВ→** Якщо головна мета в концепції Тейлора – потрапити в допуск, то в системі Шухарта – забезпечити стабільність процесу і безперервно зменшувати його варіації. Оскільки головним стало не виявлення дефектів, а їх попередження шляхом визначення причин та їх усунення, то складнішою стала мотивація праці, тому що тепер враховувалося, наскільки точно налаштований процес. До професійного навчання додалося навчання статистичним методам аналізу.

Шухарт у 1939 р. запропонував нову концепцію “**Цикл PDCA** (англ. “Plan-Do-Check-Act”) – “Планування-дія-перевірка-коригування” – цикл безперервного поліпшення якості, де планування передбачало поліпшення процесів, а у виконання планів по їх покращенню включалися не тільки інженери (конструктори, технологи), а й робітники. Ідея циклічності (за Шухартом) відображає ту думку, що основою успішного розвитку підприємства є постійна оцінка практики управління, поєднана з готовністю менеджерів підтримувати оригінальні ідеї та відмовлятися від невдалого досвіду. Вказана ідея мала в той час революційний характер і, можливо, якщо б не велика депресія 30-х років, а потім і Друга світова війна, то США б першими здійснили економічне диво, яке сталося на іншому кінці світу (в Японії) на початку 60-х рр. ХХ ст.

Демінг пропагував концепцію циклу PDCA, запропоновану Шухартом, відому сьогодні в усьому світі під назвою “**Цикл Демінга**”. Він увів модифікацію циклу PDCA – **цикл PDSA: Plan** (плануй вимірювання або випробування, спрямовані на поліпшення), **Do** (зроби – спробуй здійснити), **Study** (вивчати результати), **Act** (дій – скорегуй або відхили план). Ось чому в літературі розглянутий цикл ще має назву “**Цикл Шухарта-Демінга**”.

На етапі “Планування (P)” потрібно встановлювати цілі на основі аналізу контрольних карт Шухарта, описуючи при цьому характеристики процесу. На етапі “Виконання (D)” доцільно вести збір даних для оцінки стабільності процесу. На етапі “Перевірка (C) / Вивчення (S)” необхідно проводити діагностику процесу з точки зору його статистичної стабільності / керованості, після чого можна обґрунтовано прийняти рішення про те, чи треба втручатися в процес, чи ні. На етапі “Коригування (A)” здійснюються необхідні зміни, які можуть ставитися як до процесу, так і до параметрів контрольної карти Шухарта, застосовуваної для моніторингу.

Розвиваючи підхід, запропонований Шухартом для регулювання процесів виробництва, Демінг поширив застосування цих методів на сферу обслуговування, діяльність адміністративних органів. Ці основоположні ідеї, вперше висловлені Демінгом, ми зустрічаємо потім і у інших відомих дослідників в галузі контролю та управління якістю, наприклад у Тагуті або у авторів концепції “Шість сигм”.

Цикл Шухарта-Демінга зазвичай зображують у вигляді кола, що символізує принцип повторення у вирішенні проблеми – досягнення поліпшення крок за кроком і повторення циклу вдосконалення багато раз, використовуючи знання, накопичені на попередній стадії. ◀



**Геніті Тагуті (1924-2012)** – відомий японський вчений, нагороджений премією Демінга. Він є автором концепції робастного проектування та фахівцем зі статистичних методів контролю якості [190]. Геніті Тагуті розробив методологію, яка орієнтована більше на цілеспрямовану оптимізацію продукції і процесів до початку виробництва (стадія проектування), ніж на досягнення якості за допомогою управління. На відміну від американських вчених Г. Тагуті визначає якість продукту як “мінімальні втрати, які несе суспільство з моменту випуску продукції”. Вони включають в себе не тільки втрати, які несе компанія, оплачуючи переробки або брак, техобслуговування, простої через відмову обладнання та свої гарантійні зобов'язання, а й втрати споживача, пов'язані з поганою якістю товару і його ненадійністю, що в свою чергу веде до подальших втрат виробника внаслідок зменшення його частки на ринку. При цьому важливим є **показник виконавчої здатності** – здатність керівника забезпечити виконання поставлених стратегічних цілей у відповідності до заданої якості продукту.

Зазначимо, що втрати суспільства  $L$  відносно якості продукту, тобто сумарні втрати виробника і споживача, мають такий вигляд:

$$L = k (y - m) , \quad (7.1)$$

де  $k$  – постійна втрат,  $y$  – реальне значення характеристики якості,  $m$  – цільове значення характеристики якості.

Розроблені Г. Тагуті методи статистичного управління процесами формування якості характеризуються тим, що турбота про якість починається на ранніх етапах її формування – при проектуванні виробів і технологічних процесів. Його ідея полягає в тому, що “вкласти гроші потрібно в останню чергу”, тобто при повній ясності, а не “спочатку вкладати, а потім думати”. Оптимізація продукту полягає не тільки в наближенні його показників якості до цільових значень, але і в зведенні відхилень від цих цільових значень до мінімуму [190]. Це і є частина **статистичного управління процесами (Statistical Process Control, SPC)**.

Беручи за найкращу можливу величину показника якості його певне цільове значення і вважаючи це значення еталонним, Г. Тагуті пов'язує просту квадратичну функцію втрат з відхиленням від цієї мети. Функція втрат показує, що зменшення відхилень приводить до зниження втрат і, відповідно, до поліпшення якості. За цією теорією втрати виникають навіть у разі, коли показники якості знаходяться в допустимих межах. Але вони мінімальні тільки тоді, коли ці показники збігаються з цільовими значеннями. Якщо потрібно максимізувати показник якості (наприклад, міцність) або мінімізувати (наприклад, усадку), функція втрат стає напівпараболічною.

Втрати споживача через розкид (розсіювання) вихідної характеристики виробу пропорційні квадрату відхилення цієї характеристики від її заданого значення.

Розкид вихідних характеристик виробу або процесу може бути зменшений шляхом використання фактору нелінійності впливу параметрів виробу або процесу на ці характеристики.

Щоб ідентифікувати значення параметрів виробу або процесу, які зменшують розкид вихідних характеристик, можна використовувати статистично планований експеримент.

Г. Тагуті першим застосував процес поліпшення якості при плануванні продукції, так зване **невиробниче регулювання якості**: *турбота про якість повинна починатися на ранніх етапах його формування – при проектуванні виробів і технологічних процесів*. Даний підхід має три складові:

- 1) системне проектування;
- 2) проектування параметрів;
- 3) проектування допустимих відхилень.

Г. Тагуті розробив **7 основних принципів невиробничого і виробничого регулювання якості**:

1. Однією з характеристик, що визначають якість готової продукції, є втрати суспільства, зв'язані з використанням такої продукції (*соціальні втрати*).
2. Необхідне постійне підвищення якості продукції і зниження витрат на її виготовлення.
3. Постійне прагнення до зниження коливань вартості продукції, пов'язаних з розкидом вихідних характеристик виробу щодо їх заданих (нормативних) значень.
4. Рівень суспільних втрат через коливання виконавчої здатності пропорційний квадрату різниці між реальним показником виконавчої здатності та її номінальним значенням.
5. Планування продукції і процесів, що істотно впливають на якість продукції та виробничі витрати на неї.
6. Прагнення до зменшення коливань якості продукції при відповідному зменшенні нелінійних ефектів, що впливають на параметри продукту і / чи процесу та ускладнюють виконання визначених показників якості продукції.
7. Встановлення за допомогою методів статистичного регулювання параметрів продукції і / або процесу так, щоб зменшити коливання виконавчої здатності.

Еволюція концепцій якості, яку запропонувала російський економіст Н.К. Розова, з нашими доповненнями, зображена на рис. 7.4. “Зрощування” загального менеджменту та управління якістю, ще раз підтверджує справедливості філософської думки про розвиток за спіраллю, при якому відбувається повторення деяких ознак нижчих рівнів на найбільш високому рівні ієрархії.

Як зазначає український вчений Г.А. Саранча, для забезпечення якості продукції підприємству потрібно мати [180]:

- необхідну матеріальну базу (куповані вироби та матеріали, технологію, будівлі, споруди та ін.);
- зацікавленість робітників у праці – людський чинник;
- сучасне управління підприємством у цілому, та управління якістю зокрема.



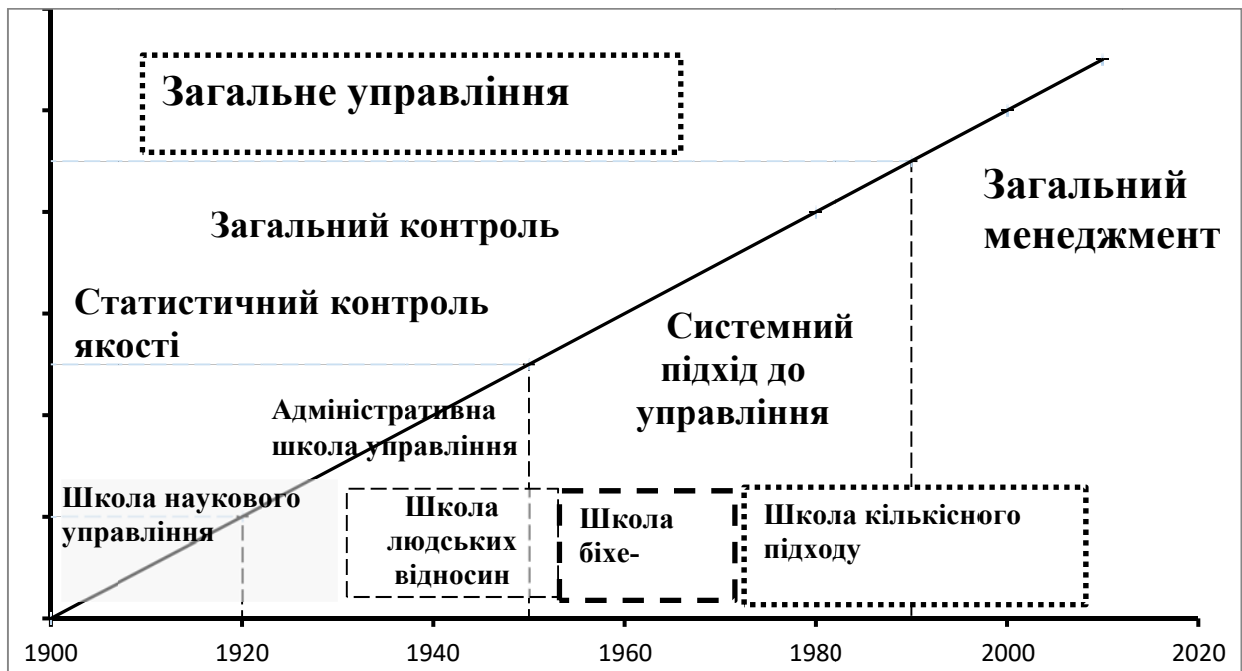


Рис 7.4. Зв'язок управління якістю із загальним менеджментом

### 7.3. Методологічні положення управління якістю

Методологія та її види. Метод та його компоненти. Управління якістю (УЯ). Наукові основи УЯ. Системи УЯ. Система якості. Система понять стосовно якості продукції. Загальносистемні принципи УЯ. Функції УЯ. Японський досвід УЯ. Гуртки якості. Метод «Сім основних інструментів контролю за якістю»: суть, основні задачі, інструменти. Життєвий цикл продукції, або петля («спіраль») якості. Метод «Модель Кано».

**Методологія** (гр. *methodos* + *logos* – спосіб пізнання, система прийомів + вчення) є вчення про систему методів наукового пізнання, теорія методів дослідження.

**ДВ** → Найчастіше методологію тлумачать як вчення про методи наукового пізнання, як теорію про систему наукових принципів, прийомів та способів дослідження. Методологія є типом раціонально-рефлексивної свідомості, спрямованої на вивчення, удосконалення відомих методів дослідження і конструювання нових методів. Головною метою методології є вивчення засобів, методів і прийомів наукового дослідження, за допомогою яких суб'єкт наукового пізнання одержує нові знання про дійсність.

Методологія має три рівні: філософська, загальнонаукова, частково-наукова (внутрішньо дисциплінарна, міждисциплінарна).

**А. Філософська (фундаментальна) методологія** є вищим рівнем методології науки, який визначає загальну стратегію наукового дослідження, загальний підхід до вивчення проблеми. Філософія покликана узагальнювати наявні знання конкретних наук, виявляти загальні принципи, які лежать в їх основі. Далі, філософія в своїх категоріях, принципах і законах розкриває логіку наукового пізнання, яка має глибоко діалектичний характер.

**Б. Загальнонаукова методологія** – методологія, яка використовується в усіх або в переважній більшості наук, оскільки будь-яке наукове дослідження має не лише предметний (об'єктний), а й методологічний зміст. До загальнонаукових принципів дослідження відносяться такі, як термінологічний, історичний, системний, модельний, когнітивний тощо. Залежно від рівнів пізнання загальнонаукові методи поділяються на два рівні:

1. **Емпіричний рівень дослідження**, на якому переважає чуттєве пізнання, збирання фактів, їх первинний опис, узагальнення, систематизація. До основних методів, які використовуються на даному рівні дослідження, відносяться спостереження, експеримент, вимірювання, порівняння, абстрагування, аналіз і синтез.
2. **Теоретичний рівень дослідження** пов'язаний з проникненням в сутність явищ, процесів, а також з формулюванням закономірностей і законів. До основних методів, які використовуються на даному рівні є ідеалізація, формалізація, моделювання, проектування, індукція і дедукція, історичний метод, аксіоматичний метод.

**В. Конкретно-наукова (або частково-наукова) методологія** – методологія, яка базується на інструментарії та методах певної (конкретної) наукової дисципліни. Наприклад, методологія фізики.

Методологію можна вважати інструментарієм дослідження. Метод виступає як вихідний пункт та умова майбутніх досліджень, а також як спосіб досягнення мети.

**Метод** (гр. *methodos* – спосіб пізнання, “шлях до чогось”) – сукупність певних норм пізнання, правил, прийомів, операцій, способів і дій спрямованих для вирішення визначеної проблеми, розв'язання теоретичної задачі чи практичного завдання, здійснення певної діяльності, досягнення певного результату.

У більш загальному розумінні можна вважати, що метод – це інструмент для вирішення головного завдання науки, пов'язаного з відкриттям об'єктивних законів і закономірностей дійсності. Витоки наукового методу є в роботах Г. Галілея, який перший застосував ідеалізацію, як науковий опис реальних предметів. Обґрунтування наукового методу відбулося завдяки праці Р. Декарта “Міркування про метод”.

Зазвичай метод розглядається як сукупність трьох складових:

- **концепції** (головного задуму, конструктивного *принципу дослідження*);
- **теоретичних засад** (наприклад, структурний або об'єктно-орієнтований підхід);
- **нотацій** (системи умовних позначень), що використовують для побудови моделі.

Значення методу влучно виразив англ. фізик Дж. Томсон (1856-1940): “*Науковий метод – не стовпова дорога до відкриттів....Скоріш за все, це сукупність правил, іноді загальних, іноді окремих, які допомагають досліднику на шляху по джунглях спочатку розрізнених, суперечливих один щодо одного фактів*” ◀

Розглянемо методологічні умови управління якістю, які, в свою чергу, входять в наукові основи управління якістю (рис. 7.5).



Рис. 7.5. Наукові основи управління якістю

**Системне управління якістю (УЯ)** передбачає:

- розгляд всієї діяльності з УЯ, як динамічної *системи*;
- визначення складу та структури підсистем й елементів динамічної системи;



- аналіз всіх елементів і частин системи, взаємодії між ними, розгляд організації системи, а також зворотних зв'язків й управління;
- встановлення зовнішніх зв'язків динамічної системи і виявлення серед них головних;
- визначення мети (призначення) і функцій системи;
- виявлення на основі результатів аналізу закономірностей і тенденцій розвитку системи.

Нижче подано ряд базових означень, які запозичимо із Міжнародного стандарту ІСО 8402-1994 “Управління якістю та забезпечення якістю” [132].

**Забезпечення якості** – сукупність планованих і систематично проведених заходів, необхідних для створення впевненості в тому, що продукція або послуга задовольняє певним вимогам до якості.

**Поліпшення якості** – постійна діяльність, спрямована на підвищення технічного рівня продукції, якості її виготовлення, удосконалювання елементів виробництва та системи управління якістю.

**Простежуваність продукції** – здатність проаналізувати передісторію створення, використання та місцезнаходження продукції (дій) на всіх стадіях і етапах її виробництва. Простежування продукції забезпечується маркуванням, етикетуванням, технічною та технологічною документацією.

**Система якості** (СЯ) – сукупність організаційної структури, відповідальності, процедур, процесів і ресурсів, які забезпечують здійснення загального керівництва якістю.

**Управління якістю** (УЯ) – пріоритетність роботи з людьми в умовах ринкових відносин. Як зазначає російський економіст В.М. Мішин “...варто визнати тотожність понять “управління якістю” і “менеджмент якості”, так як і в тому, і в іншому випадках для умов ринку розуміється одна і та ж сучасна масштабність і зміст управлінської діяльності в галузі забезпечення якості та конкурентоспроможності” [138, с . 33]. На рис. 7.6 зображено взаємозв'язок понять, які регулюють якість продукції.

Розглянемо основні загальносистемні принципи управління якістю [138]:

- **цілеспрямованість**, яка реалізується формуванням відповідних підсистем для досягнення поставлених цілей;
- **подільність**, що досягається декомпозицією сформованої системи на підсистеми і елементи;
- **ієрархічність**, яка реалізується формуванням багаторівневої структури системи з урахуванням делегування повноважень на відповідний рівень управління (відділу, цеху, дільниці, бригади і т. д.);
- **комплексність**, яка досягається взаємною ув'язкою всіх сформованих підсистем, елементів, стадій життєвого циклу продукції, ієрархічних рівнів і всього комплексу організаційних, економічних, соціальних, науково-технічних, виробничих та інших заходів, що використовуються при управлінні якістю;
- **взаємодіяльність**, реалізована за допомогою здійснення взаємозв'язків сформованих систем управління якістю з усіма іншими системами управління підприємством (встановленням пріоритетності одних цілей по відношенню до

інших, або прийняттям взаємопов'язаних цілей кількох систем, здійсненням взаємопов'язаних процесів їх досягнення);

- **замкнутість загальних функцій управління якістю** (замкнутість управлінського процесу), яка реалізована виконанням в системі, підсистемах і елементах повного загальнофункціонального циклу, включаючи прогнозування і планування, організацію, координацію роботи і т. д.;
- **систематичність**, яка визначає постійне виконання всіх робіт з управління якістю, їх довготривалість і тривалість дії;
- **спадкоємність**, яка повинна проявлятися як при створенні системи, так і при її функціонуванні та вдосконаленні;
- **простота і зрозумілість (дохідливість)**, які необхідно реалізувати для розуміння кожним працюючим всього, що стосується управління якістю та забезпечення конкурентоспроможності не тільки продукції, але і підприємства в цілому.

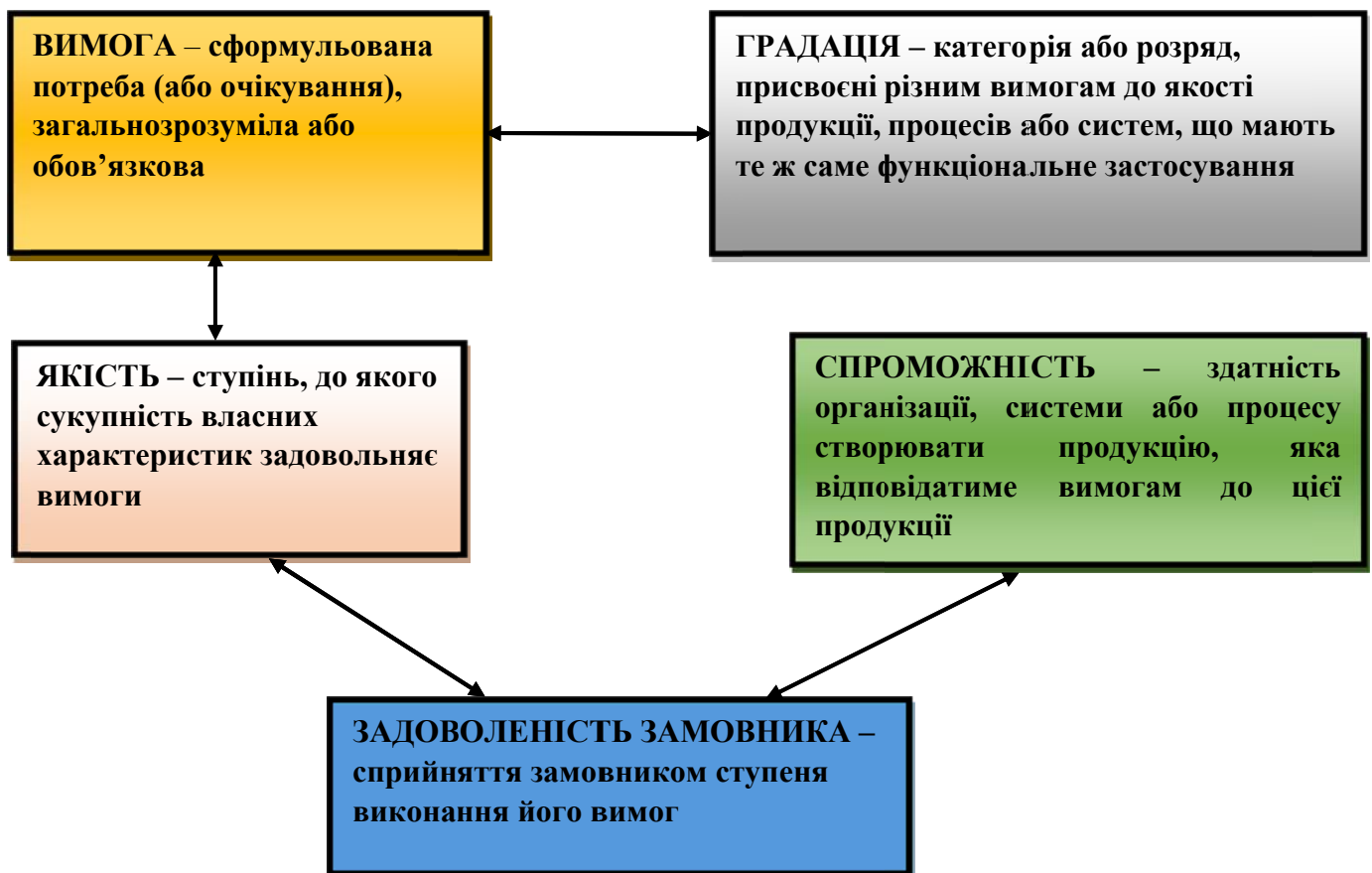


Рис. 7.6. Система понять стосовно якості продукції

Розглядаючи замкнутий управлінський цикл можна виділити організацію функціонального управління.

До **функцій управління** належить віднести [138]:

- ❖ **Планування** – процес підготовки менеджерами рішень щодо забезпечення зусиль колективу для досягнення цілей підприємства в галузі якості та конкурентоспроможності.

- ❖ **Організація**, спрямована на структурування всіх робіт організаційного характеру та їх розподіл по вертикалі і горизонталі для досягнення цілей і виконання намічених планів у сфері якості та конкурентоспроможності.
- ❖ **Мотивація**, яка забезпечує активізацію праці працюючих з виконання всіх видів робіт з високою якістю (без помилок) у відповідності до розподілених функцій, планів та вимог. Мотивація включає, як правило, зовнішнє стимулювання (матеріальне, моральне) і психологічне стимулювання (створення умов для зацікавленості у праці, потреби у трудовій активності, задоволення від трудової діяльності). Це одна з найважливіших менеджерських функцій.
- ❖ **Контроль**, який являє собою:
  - ✓ відстеження того, що заплановано з підвищення та забезпечення якості та конкурентоспроможності;
  - ✓ визначення того, що зроблено в цій галузі в певний проміжок часу;
  - ✓ порівняння запланованого з досягнутим;
  - ✓ прийняття коригуючих “м'яких” заходів при виявленні відхилень від запланованого.

За допомогою контролю здійснюється **зворотний зв'язок**, який повинен бути об'єктивною основою для ефективного втручання менеджерів у процес управління якістю, тобто у підвищення та забезпечення якості та конкурентоспроможності продукції.

### **Японський досвід управління якістю**

В Японії на початку 50-х рр. ХХ ст. вдосконалення якості звели в ранг державної політики, а через 10 років отримали досить успішні результати (Японія вийшла в першу п'ятірку країн світу за якістю продукції).

Великий внесок в програму вдосконалення якості зробили Е. Демінг, який



почав впровадження системи комплексного управління якістю, а також професор **Каору Ісікава** (Kaoru Ishikawa, 1915-1989), відомий японський вчений, який зробив важливий внесок у створення концепції загального (тотального) контролю над якістю, розробці статистичних методів контролю якості (“*діаграми Ісікави*”). К. Ісікава запропонував ідею створення знаменитих **гуртків якості** (ГЯ) (Quality Circle , QC), які діють на основі таких **принципів** [88]:

- добровільності участі;
  - регулярності зборів;
  - конкретності вирішуваних проблем;
  - виявлення, вивчення та оцінювання проблем якості в ході обговорення.
- Гуртки якості *забезпечують*:
- підвищення ефективності виробництва та розвиток підприємства;
  - проведення причинно-наслідкового аналізу;
  - виявлення заходів щодо скорочення витрат;
  - створення сприятливої атмосфери на робочих місцях на основі взаєморозуміння і взаємоповаги;

- зміцнення зв'язків між співробітниками фірми;
- самонавчання членів гуртка;
- сприятливу обстановку для виявлення творчих здібностей працівників.

Ісікава писав: “...ті, хто незнайомий з діяльністю по управлінню якістю, вважають, що групи якості створюються в першу чергу для поліпшення умов праці. Це невірно. Ці групи створюються з метою придбання знань, люди в них навчаються уникати повсякденних помилок” [88, с. 59].

У 1979 р. член японського союзу вчених й інженерів К. Ісікава представив метод “*сім основних інструментів контролю за якістю*” (СОІКЯ). Метод застосовують як безпосередньо у виробництві, так і на різних стадіях життєвого циклу продукції.

**Метою методу СОІКЯ** є виявлення проблем, які підлягають першочерговому вирішенню, на основі контролю чинного процесу збору, обробки й аналізу отриманого статистичного матеріалу для подальшого поліпшення процесу якості.

**Суть методу СОІКЯ** полягає в тому, що контроль якості – це одна з основних функцій в процесі управління якістю, а збір, обробка й аналіз фактів (статистичного матеріалу) – найважливіший етап цього процесу. Науковою основою сучасного технічного контролю є математико-статистичні методи.

До основних завдань методу СОІКЯ відносяться:

- ❖ Залучення в процес забезпечення якості кожного співробітника фірми.
- ❖ Використання статистичних методів контролю над якістю.
- ❖ Створення системи мотивації.
- ❖ Заохочення навчання, підвищення кваліфікації.
- ❖ Організація гуртків якості, які підтримують нижчу ієрархічну ступінь управління.
- ❖ Створення команд (тимчасових колективів) із фахівців, зацікавлених у вирішенні конкретної проблеми.
- ❖ Перетворення проблеми забезпечення якості в загальнонаціональну задачу.

Власне до основних інструментів контролю за якістю відносяться такі (відомі фахівцям) сім методів:

1. **Контрольний листок** – інструмент для збирання інформації (даних) та його автоматичного упорядкування для полегшення використання зібраної інформації.
2. **Гістограма** – інструмент, що дозволяє оцінити розподіл статистичних даних, згрупованих за частотою попадання даних у визначений інтервал.
3. **Діаграма Парето** – інструмент, що дозволяє об'єктивно виявити основні чинники, що впливають на досліджувану проблему.
4. **Метод стратифікації** (розшарування даних) – інструмент, що дозволяє здійснити поділ даних на підгрупи за певною ознакою.
5. **Діаграма розкиду** (розсіювання даних) – інструмент, що дозволяє визначити вигляд і тісноту зв'язків між парами відповідних змінних.
6. **Діаграма Ісікави** (причинно-наслідкова діаграма) – інструмент, що дозволяє виявити найважливіші чинники (причини), що впливають на кінцевий результат (наслідок).

7. **Контрольна карта** – інструмент, що дозволяє відстежувати хід перебігу процесу, попереджуючи його відхилення від пред’явлених до процесу вимог.

На японських підприємствах велику популярність завоювала **програма “п’яти нулів”**, суть якої зводиться до того, що кожен працівник НЕ МАЄ ПРАВО робити наступне:

- 1) приймати дефектну продукцію з попередньої операції;
- 2) створювати умови для появи дефектів;
- 3) передавати дефектну продукцію на наступну операцію;
- 4) вносити зміни в технологію;
- 5) повторювати помилки.

На якість продукції (послуг) діють взаємозалежні послідовні виробничі або трудові дії, починаючи від виготовлення до споживання.

Останнє влучно характеризується українським прислів’ям про працю господині з недостатнім досвідом: *“Може гарно готувати та погано подавати”*.

Величезне значення в системі випуску якісної продукції має життєвий цикл або петля якості (рис. 7.7).

**Петля якості** (“спіраль якості”) – схематична модель взаємозалежних етапів і видів діяльності, що впливають на якість продукції або послуги на різних стадіях від визначення потреб до оцінки їх виконання.

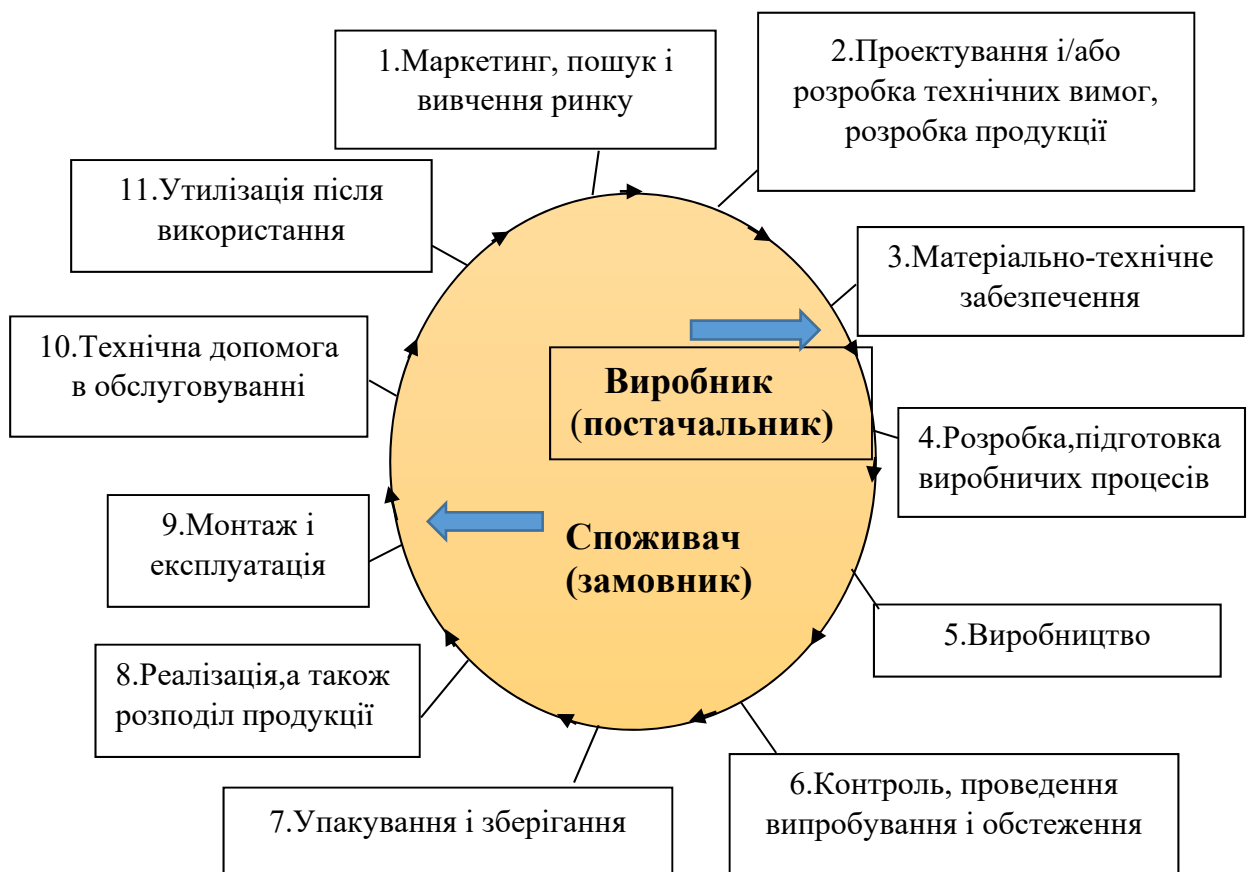


Рис. 7.7. Петля якості (спіраль якості) в системі менеджменту якості

## Метод “Модель Кано”

У подальшому, в 70-х рр. ХХ ст. в Японії почалося систематичне впровадження в практику роботи фірм статистичних методів за узагальнюючою назвою “Сім інструментів контролю якості” (У. Шухарт, К. Ісікава), а також нова модель “Розгортання функцій якості” (Quality Functions Deployment, **QFD**), або метод “модель Н. Кано”.



**Норіакі Кано** (Kano Noriaki, 1940 р. нар.) – вчений, заслужений професор Токійського Університету Наук, письменник і консультант в галузі менеджменту якості, гуру Загального Управління Якістю (TQM). Найбільш відомий завдяки створенню моделі привабливої якості, що отримала надалі ім'я автора – “*модель Кано*” (модель QFD). У основі моделі QFD лежить *модель профілю якості*. QFD-модель використовується для забезпечення кращого розуміння вимог споживачів при проектуванні, розробці та вдосконаленні продукції, послуг і процесів із застосуванням все більшої орієнтації на встановлені та передбачувані потреби споживачів.

*Метод “Модель Кано”* призначений для вироблення стратегії організації в питаннях вирішення проблем забезпечення задоволеності споживачів.

Мета методу полягає у визначенні та розподілу всього діапазону потреб (вимог) споживачів за пріоритетами та подальший поділ вимог споживачів за складовими профілю якості.

*Профіль необхідної якості* – це сукупність показників якості, що представляють собою технічні та функціональні характеристики продукції.

Показники якості показують, наскільки продукт відповідає тому, що було задумано. Саме ці показники зазвичай рекламуються і гарантуються споживачам.

---

## 7.4. Основні наукові моделі концепцій якості

---

Наукова модель і моделювання. Основні моделі концепцій якості: модель Фейгенбаума, модель Еттінгера-Сіттіга, модель Джурана, модель “Петля якості”, модель “Цикл Демінга”, модель “Трилогія Джурана”, моделі ділової досконалості, модель Кано. Узагальнюючі висновки.

---

**ДВ→** Читач вже має уявлення про наукову модель. Нагадаємо, що модель є засобом і формою наукового пізнання. Звично під *моделлю* (від лат. *modulus* – міра) розуміють “...об’єкт-замісник об’єкта-оригіналу, що забезпечує вивчення деяких властивостей оригіналу” [187, с. 6]. Можна вважати об’єкт-оригінал об’єктом ПП, який розглядається як система. Останній може бути предметом, явищем, процесом, концепцією, теорією тощо. Процес створення (побудови) та дослідження моделі – *моделювання* (scientific modeling, simulation). ◀

Коротко розглянемо основні моделі концепцій якості.

### 1. Модель Фейгенбаума

*Модель Фейгенбаума* – це ієрархічна модель загального (комплексного) контролю якості на підприємстві, яка умовно зображується у вигляді трикутника (рис. 7.8). Цей трикутник за методом декомпозиції розбитий на 17 ділянок, яким

відповідають визначені функції. Ці функції розподілені за певними ієрархічними рівнями [197]:

Рівень 1 – підготовка до проектування:

- 1.1) оцінювання якості продукції від різних постачальників;
- 1.2) вибір методів контролю якості на підприємстві;
- 1.3) контроль вимірювальних приладів;
- 1.4) розробка планів прийому матеріалів;
- 1.5) планування системи забезпечення якості.

Рівень 2 – проектування системи забезпечення якості:

- 2.1) випробування прототипів виробів, що будуть виготовляти;
- 2.2) визначення рівня надійності виробів;
- 2.3) аналіз вартості витрат на управління якістю;
- 2.4) оцінювання ефективності методів контролю.

Рівень 3 – етап активації системи:

- 3.1) розробка технології контролю якості на підприємстві;
- 3.2) розробка системи інформації про якість продукції;
- 3.3) зворотний зв'язок та контроль якості.

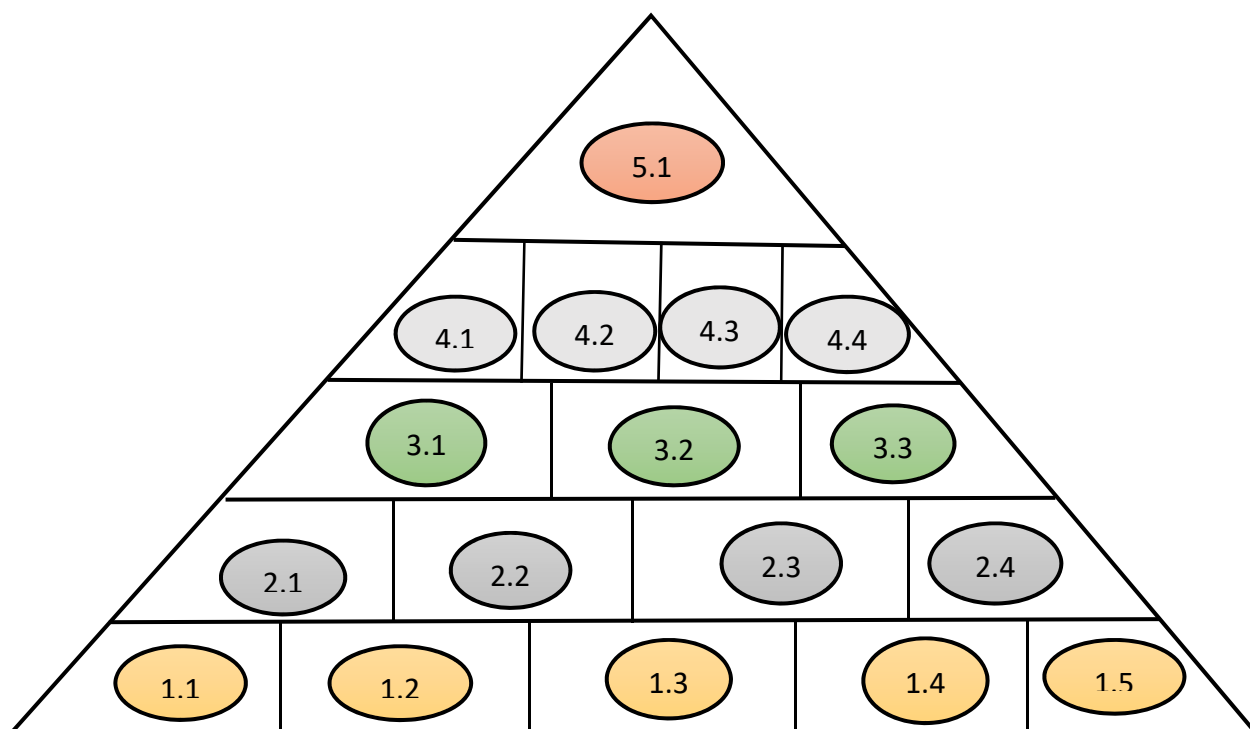


Рис. 7.8. Модель якості Фейгенбаума

Рівень 4 – етап реалізації системи за стадіями:

- 4.1) контроль нових проектів;
- 4.2) контроль якості виконання виробничих процесів;
- 4.3) вхідний контроль матеріалів і комплектуючих;
- 4.4) аналіз та вдосконалення виробничих процесів.

Рівень 5 – кінцевий:

- 5.1) комплексний контроль якості на підприємстві та узагальнюючі висновки.



## **2. Модель Еттінгера-Сіттіга**

Модель Еттінгера-Сіттіга розроблена спеціалістами Європейської організації з контролю якості. Ця модель ґрунтується на концепції, яка враховує необхідність управляти функціональною якістю продукції, враховувати вплив попиту на якість продукції, передбачати вивчення ринків збуту [196].

Хоча вказана модель призначена для контролю якості, проте вона враховує питання проектування виробу, планування виробничих процесів, виробництво, збут, гарантійне обслуговування, дослідження ринку продукції (рис. 7.9).

Модель Еттінгера-Сіттіга графічно зображується колом, розділеним на вісім секторів. Кожний сектор відображає певну спеціальну функцію управління підприємством, а саме:

- 1) вивчення попиту;
- 2) формулювання цілей;
- 3) проектування (конструювання) виробу;
- 4) планування виробничих процесів;
- 5) виробництво;
- 6) розподіл;
- 7) післяпродажне обслуговування споживачів;
- 8) експлуатація виробу.

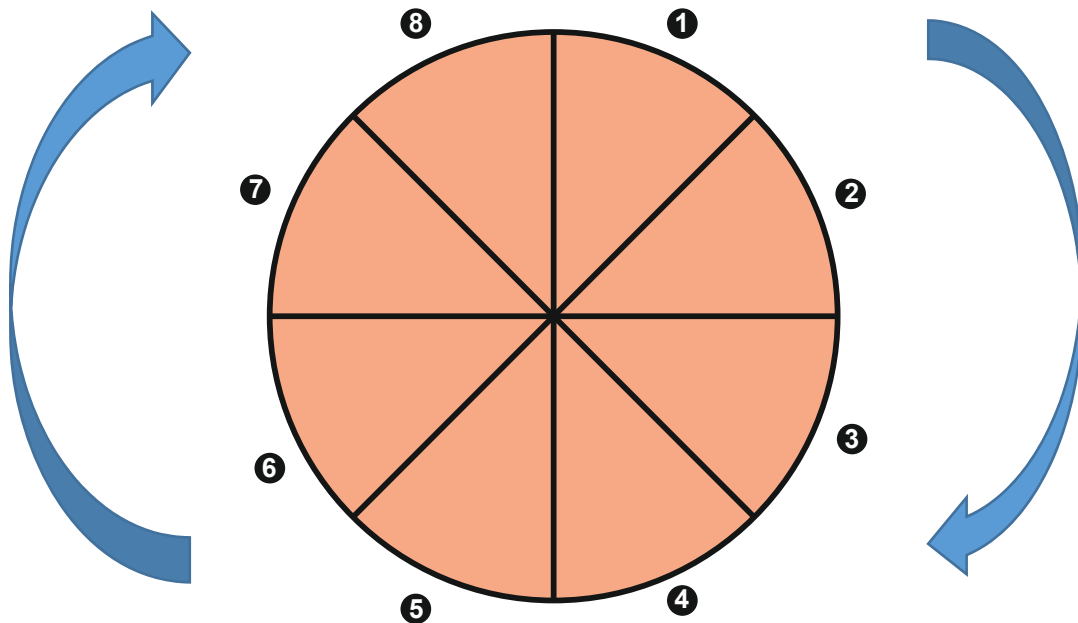


Рис. 7.9. Модель Еттінгера-Сіттіга

## **3. Модель Джурана [53]**

Дж. Джуран першим обґрунтував перехід від контролю якості до управління якістю. Ним запропонована знаменита “спіраль якості” (рис. 7.10).

Модель Джурана – позачасова просторова модель, котра визначає основні стадії безперервно розвиваючих робіт з управління якістю і служить прообразом багатьох моделей, що з’явилися пізніше. Ця модель умовно ілюструється висхідною спіраллю, де кожний виток позначає процес покращення якості.



Поліпшення якості, на думку Джурана, – це перевищення уже досягнутих результатів роботи у сфері якості, пов'язане з прагненням людини встановити новий рекорд.

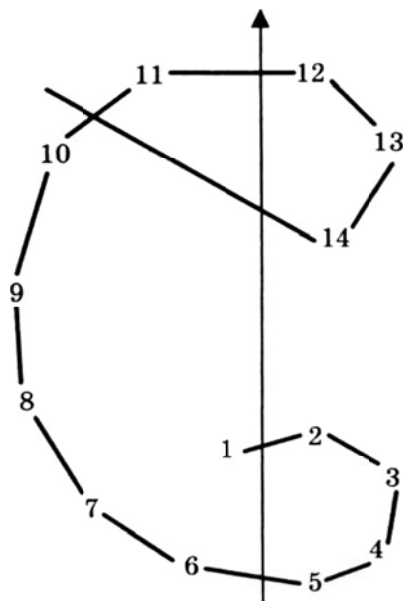


Рис. 7.10. Спіраль Джурана,

де: 1) дослідження ринку; 2) розроблення проектного завдання; 3) науково-дослідні та проектно-конструкторські роботи; 4) складання технічних умов для виробництва продукції; 5) розроблення технології та технологічна підготовка виробництва; 6) матеріально-технічне забезпечення, тобто придбання матеріалів, комплектуючих, устаткування, інструменту; 7) виготовлення інструменту, пристосувань, оснастки і придбання контрольно-вимірювальних приладів; 8) виробництво продукції; 9) контроль процесу виробництва; 10) контроль готової продукції; 11) випробовування робочих характеристик продукції; 12) збут; 13) технічне обслуговування продукції; 14) вивчення ринку поряд з дослідженням експлуатаційних показників якості.

У філософії менеджменту безперервне поліпшення означає, що на зміну політики стабільності приходить політика змін. Головна увага в концепції “Щорічне поліпшення якості” (*Annual Quality Improvement, AQI*) зосереджується на стратегічних рішеннях, більш високій конкурентоспроможності і довгострокових результатах.

Належить додати, що модель Джурана додатково має на увазі зв'язок з постачальниками, рекламу і продаж, а також налагодження і технічне обслуговування виробничої продукції.

#### 4. Модель “Петля якості”

Раніше ми розглядали поняття “Життєвий цикл продукції (виробу)” – стадії процесу, що охоплюють різні послідовні стани еволюції конкретної технічної системи. На відміну від 8-и стадій життєвого циклу виробу, життєвий цикл продукції в аспекті якості має 11 етапів.

Таким чином, життєвий цикл продукції раціонально розглядати у вигляді моделі “Петля якості” – замкнене коло якості, що містить такі етапи (рис. 7.11):

- маркетинг та дослідження ринку (1);
- проектування (розроблення) продукції (2);
- постачання матеріалів, комплектуючих, обладнання тощо (3);
- планування виробництва продукції (4);

- масове чи серійне виробництво продукції (5);
- контроль і перевірка продукції (6);
- пакування продукції та її складування (7);
- розподіл і збут продукції (8);
- монтаж, експлуатація продукції (9);
- поточний сервіс, поточний ремонт продукції (10);
- утилізація продукції після використання за прямим призначенням (11).

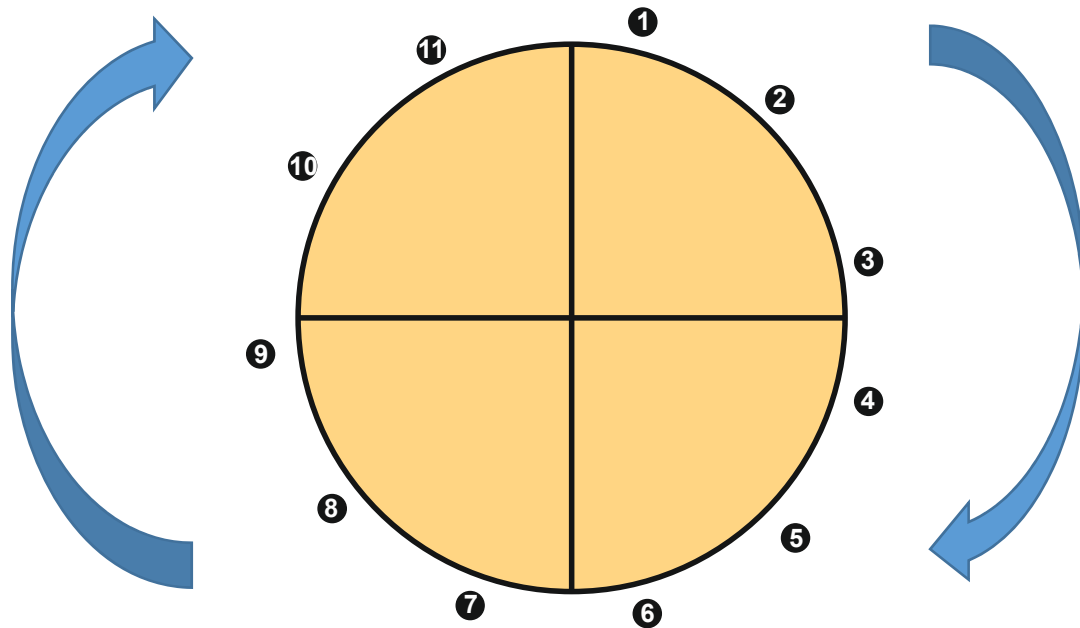


Рис. 7.11. Модель “Петля якості”

### 5. Модель “Цикл Демінга”

Модель “Цикл Демінга” – циклічна модель управління якістю: Планування (*Plan*) ⇒ Дія (*Do*) ⇒ Контроль результатів (*Check*) ⇒ Корегувальна дія (*Action*) [51].

Таким чином, управління якістю складається з чотирьох послідовних стадій: планування, реалізація (дії), перевірка (контроль результатів), коригувальні дії. Модель “Цикл Демінга” зображується у вигляді кола Демінга (рис. 7.12).

Коло Демінга є моделлю постійного поліпшення якості за допомогою реалізації чотирьох послідовних функцій: планування, виконання, контролю та коригувальних дій.

**Функція планування** є аналізом й обліком результатів вивчення ринків, ринкової інформації, коефіцієнта ефективності капітальних витрат, технічного рівня підприємства, ефективності контролю, очікуваної реалізації, передбачуваної собівартості і т. д. Планування передбачає визначення очікуваного рівня якості продукції. Якість продукції при цьому повинна бути виражена в цифрових характеристиках, встановлених нормативами, технічними умовами й іншою технічною документацією.

**Функція виконання** є реалізацією запроєктованої якості в готову продукцію. Вона передбачає конструкторське і технологічне проектування, визначення типу устаткування, а також методів роботи, методів і методик контролю, що використовуються. Крім того, функція виконання передбачає навчання і стажування виконавців робіт. Все це в комплексі здійснюється в цілях збереження відповідності продукції технічним умовам і дотримання встановлених термінів.

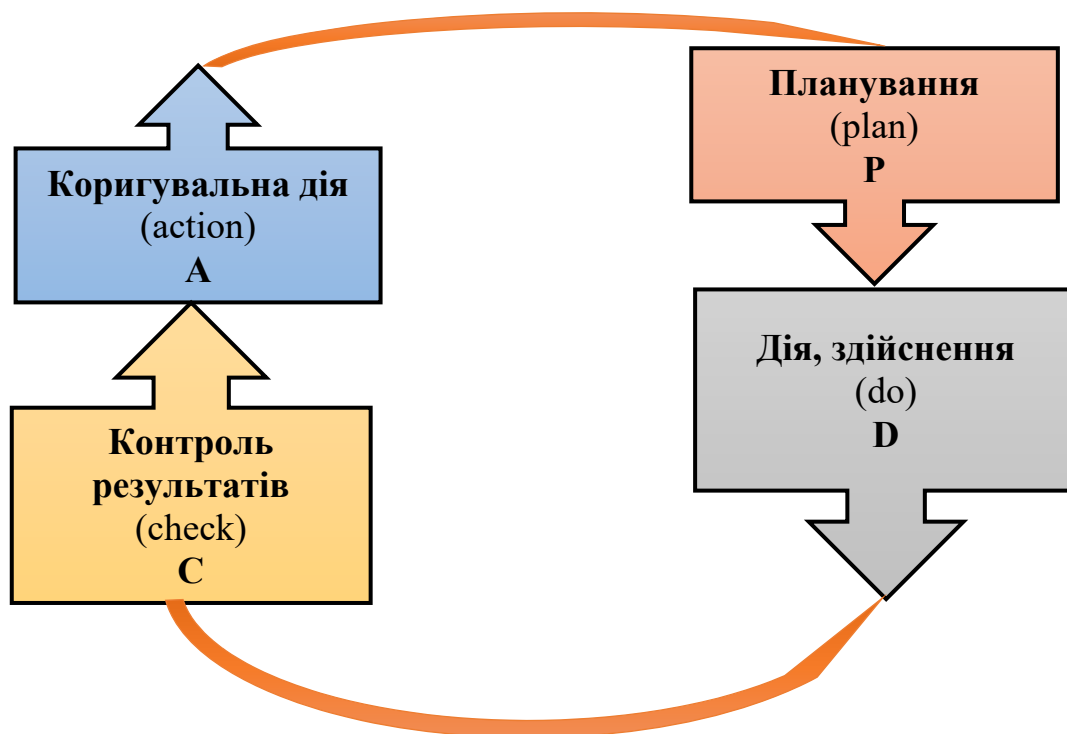


Рис. 7.12. Модель “Цикл Демінга”, або коло Демінга

**Функція контролю** є контролем якості процесів, матеріалів і готової продукції для забезпечення їх відповідності заданим характеристикам. Після надходження товару на ринок функція контролю реалізується в цілях визначення реакції ринку на запропонований товар. Залежно від можливості або неможливості реалізувати товар відповідно до плану збуту можна скласти висновок про задані та необхідні характеристики їх якості.

**Функція коригувальних дій** має на увазі вживання заходів по реалізації продукції і проведення заходів щодо технічного обслуговування (сервісу). Крім того, до неї відносяться аналіз інформації щодо якості реалізованого на ринку товару, виявлення можливостей поліпшення його якості, вивчення думки споживачів про якість товару для внесення необхідних змін в процес виробництва. Інформація про якість реалізованого товару враховується при подальшому його проектуванні.

## 6. Модель “Трилогія Джурана” [53]

Джозеф Джуран в монографії “Трилогія якості” доказав, що якістю можна управляти за допомогою трьох процесів:

- ❖ **Планування якості.** Планування необхідне для встановлення та документального оформлення необхідних характеристик продукції та процесів.

❖ **Регулювання якості.** Регулювання складається з процесів контролю й оперативного втручання в процеси. Регулювання спрямовано на виправлення встановлених відхилень параметрів від нормативних і накопичення інформації для поліпшення якості.

❖ **Поліпшення якості.** Поліпшення якості полягає в вирішенні проблем, що призводять до появи браку, постійному підвищенню ефективності виробництва. Як результат, отримують скорочення витрат при такому рівні обслуговування, який задовольняє покупця.

Отже, модель Джурана має триплетну спрямованість (рис. 7.13):

- спрямованість на задоволення інтересів споживачів;
- спрямованість на контроль якості;
- спрямованість на оптимізацію виробничих процесів з метою поліпшення якості.

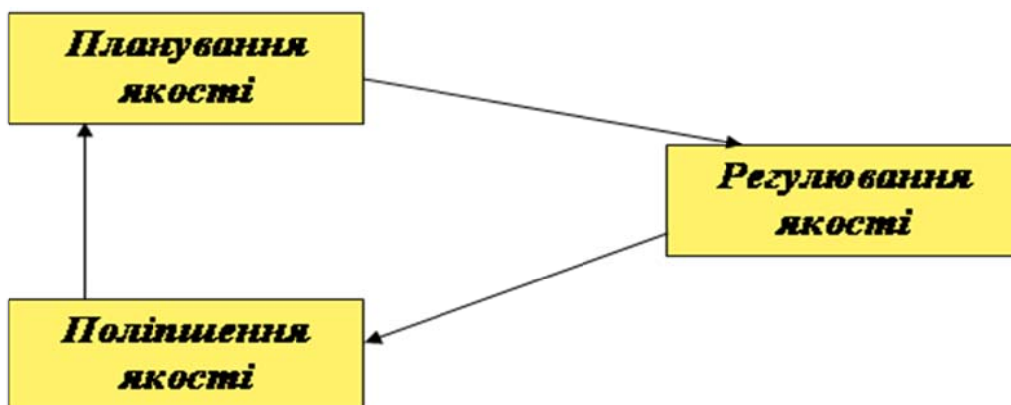


Рис. 7.13. Модель “Трилогія Джурана”

### 7. Моделі ділової досконалості

Моделі ділової досконалості – це системна сукупність критеріїв, заснованих на принципах TQM та призначених для оцінювання діяльності підприємства в сфері якості. Вказані моделі втілюються в преміях Е. Демінга, М. Болдріджа, Європейська премія якості.

Підводячи підсумки моделювання якості, зазначимо, що “базою якості” є матеріальна й фінансова база підприємства, а також кваліфікований персонал. Після кожного циклу управління якість продукції повинна підвищуватися. У супротивному випадку, висхідна спіраль перетвориться у плоску петлю, тобто приріст якості продукції буде рівний нулю.

### 8. Модель Кано (QFD)

Цей інструмент управління якістю (QFD-модель, або модель Кано) дозволяє описати потреби споживача в таких поняттях, які залишають споживача байдужим, незадоволеним, або приводять його в захоплення (рис. 7.14). Таким чином, модель Кано відображає сприйняття якості споживачем і сприяє його розумінню, так як показує взаємозв'язок між якістю продукції і параметрами цієї якості.

Н. Кано в своїй теорії привабливої якості виділяє **три складові профілю якості** [228]:

- **базова (основна) якість**, яка відповідає “обов’язковим” характеристикам продукції;
- **необхідна (очікувана) якість**, яка відповідає “кількісним” характеристикам продукції;
- **приваблива (випереджальна) якість**, яка відповідає “сюрпризним” характеристикам продукції, що викликають задоволення (захват, захоплення, зачарування, угамування тощо).

**ДВ**→ Слід зазначити, що ступінь задоволення потреб споживача, пов’язаних з даним товаром є одним з ключових факторів формування споживчої вартості й організація (підприємство, фірма тощо) повинна приділяти йому основну увагу.

Це зумовлено тим, що для того, щоб потреба була задоволена, вона повинна актуалізуватися, тобто вийти на одне з перших місць серед потреб споживача. Інакше споживач буде витратити гроші на більш актуальні для нього потреби.

Як показано на рис. 7.14, ступінь задоволення / незадоволення продукцією (товаром), а саме виробами чи послугами має граничні межі: велика ступінь незадоволеності (неприємність, неприхильність, ворожість) ↔ велика ступінь задоволеності (захоплення, захват, насолода тощо), яка в граничному випадку співпадає з щастям, благодаттю. Очевидно, рівні задоволеності споживача можна наочно розташовувати як градації шкали Лайкерта (Likert scale), яка застосовується в маркетингових дослідженнях [56]. Це суб’єктивна шкала, яка застосовується, зокрема, при визначенні уявлень, думок і відношень до товарів (виробів, послуг). У нашому випадку ми маємо справу з “класичною шкалою” Лайкерта, яка включає п’ять пунктів (позицій): *неприємність, незадоволення, нейтральність, задоволення, насолода*. Вказана шкала дозволяє у першому наближенні оцінити товар за якістю.

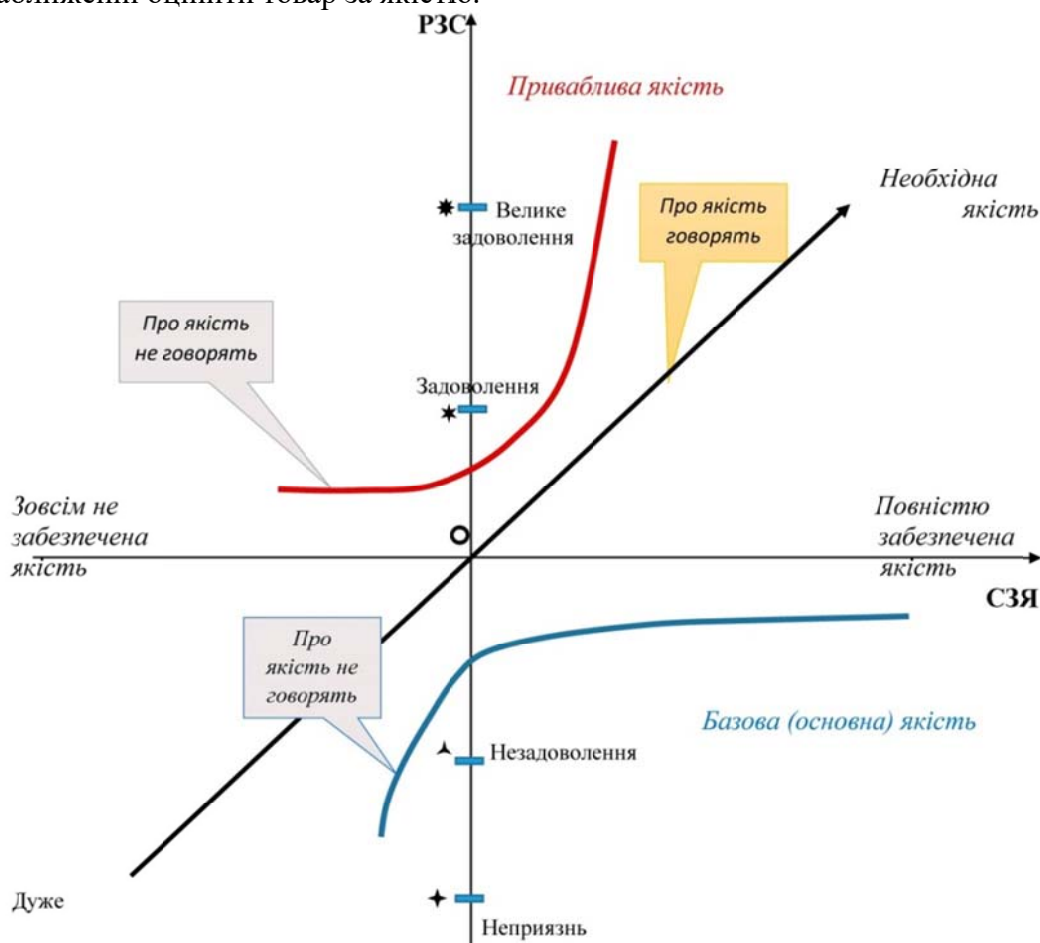


Рис. 7.14. Модель Кано, де: + – неприємність; ^ – незадоволення; 0 – нейтральність; \* – задоволення; \* – насолода; СЗЯ – ступінь забезпечення якості; РЗС – рівень задоволеності споживача

---

## 7.5. Система якості та система управління якістю

---

Система якості: дефініція, аналіз терміну. Управління якістю. Система управління якістю. Менеджмент якості. Ресурс. Сутність послуги. Загальні функції управлінського циклу в системі управління якістю. Аналіз системи якості, як інструмента управління якістю. Основні принципи побудови систем якості, що регламентовані міжнародними стандартами ISO серії 9000. Модель системи управління якістю, що базується на процесному підході.

---

Як і будь-яка система, система якості має склад і структуру, які є підґрунтям адекватного означення.

**Якість** – сукупність характеристик об’єкта, що відносяться до його здатності задовольняти встановлені і передбачувані потреби [157].

**Система якості** – сукупність організаційної структури, методик, процесів, ресурсів, необхідних для здійснення загального управління якістю (ISO 9000:2000).

Під “**управлінням**” ми будемо розуміти як процес визначення мети, так і діяльність по досягненню поставленої мети [157].

**Система управління якістю** – система управління, яка спрямовує та контролює діяльність організації щодо якості (ISO 9000:2007).

**Система менеджменту якості** – система, яка включає в себе діяльність, за допомогою якої організація встановлює свої цілі та визначає процеси і ресурси, що необхідні для досягнення бажаних результатів (ISO 9000:2015).

Проаналізуємо зміст складових понять, які входять у визначальне, дефінієнс (*indicating, definiens*) та зовнішніх пояснюючих понять.

**Діяльність** – будь-яка активність людини, якій вона сама надає деякий сенс. Це свідома сторона особи людини на відміну від поведінки. Суть діяльності – процес активної взаємодії суб’єкта з об’єктом, під час якого суб’єкт задовольняє будь-які свої потреби та досягає поставленої мети.

**Управління якістю** – скоординована діяльність, яка полягає у спрямуванні та контролюванні організації щодо якості. Управління якістю – аспекти виконання функції управління, які визначають політику, цілі та відповідальність у сфері якості, а також здійснюють їх за допомогою таких засобів, як планування якості, оперативне управління якістю, забезпечення якості та поліпшення якості в рамках системи якості (рис. 7.15).

**Процес** (лат. *processus* – рух) – сукупність ряду послідовних дій, спрямованих на досягнення певного результату. Процес – послідовна зміна станів об’єкту в часі. Як зазначає В.В. Окрепілов, “стандартне означення терміна “процес” означає сукупність взаємопов’язаних ресурсів і діяльності, яка перетворює вхідні елементи у вихідні. До ресурсів можуть належати: персонал, засоби обслуговування, устаткування, технологія і методологія” [157, с. 20].

**Ресурс** (фр. *ressource* – засіб, спосіб, дані) – запаси чого-небудь, які можна використати в разі потреби. Види ресурсів: матеріальні, природні, енергетичні, інформаційні, фінансові, людські, трудові, адміністративні тощо. Система менеджменту якості управляє взаємодіючими процесами та ресурсами, необхідними для створення цінності та виробництва продукції для відповідних зацікавлених сторін.

*Забезпечення якості* – це результат роботи підприємства чи організації щодо створення продукції.

Очевидно, що всі роботи, що виконуються на підприємстві за певною мірою (у більшому чи меншому ступені), прямо чи опосередковано впливають на якість. Звідси випливає, що система забезпечення якості має включати всі елементи діяльності підприємства.

Відповідно до міжнародних стандартів ISO серії 9000, основний критерій оцінювання якості наданої *послуги* для споживача – це ступінь його задоволення, тобто відповідність отриманого та очікуваного. Задоволеність замовника визначається ступенем виконання його вимог.

Принцип забезпечення якості послуги аналогічний принципу забезпечення якості продукції. Для забезпечення якості послуги необхідно мати в організації матеріальну базу, кваліфікований персонал з відповідальними керівниками, досвід роботи організації з надання послуг або / і випуску конкурентоздатної продукції.

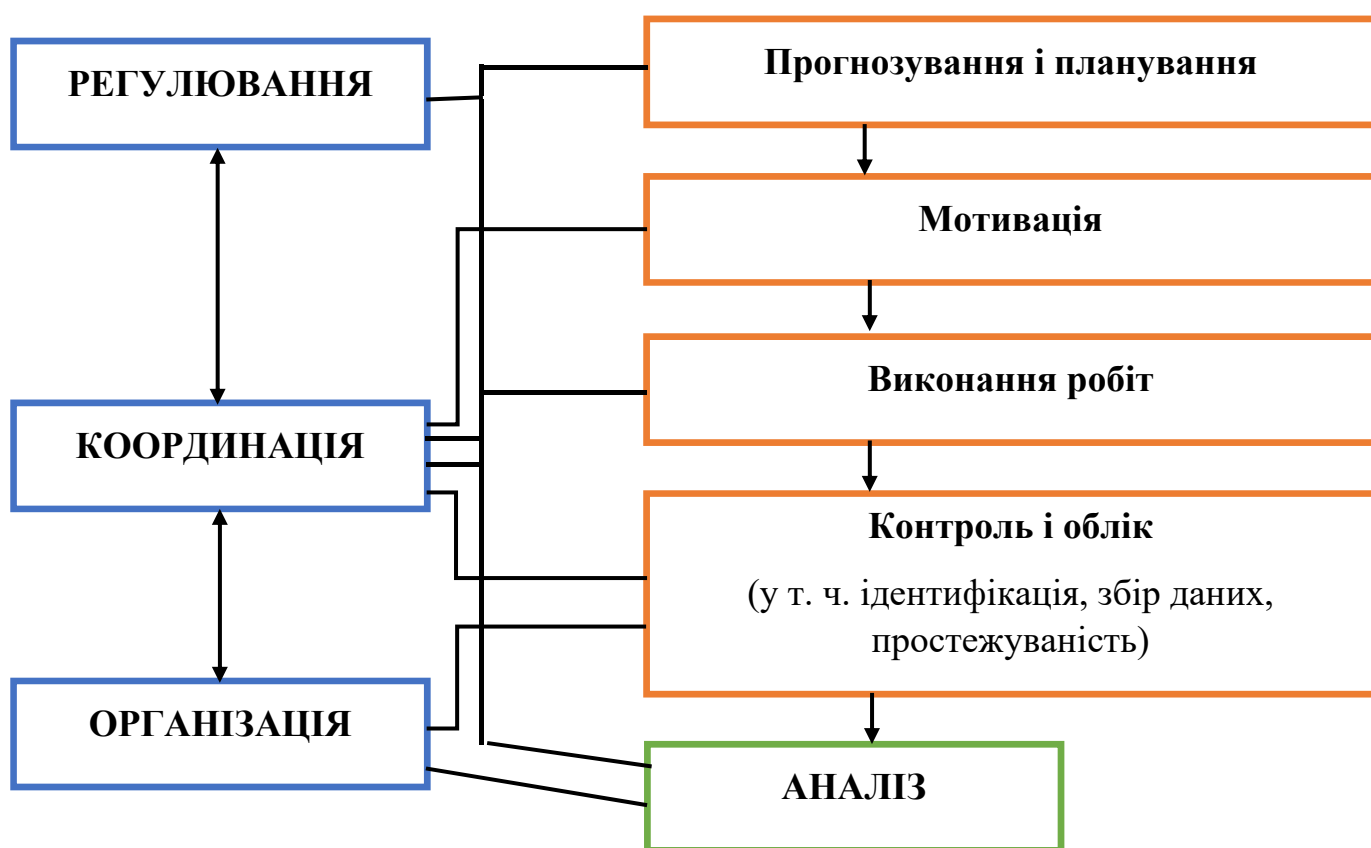


Рис. 7.15. Загальні функції управлінського циклу в системі управління якістю [138]

Міжнародні стандарти ISO серії 9000 акцентують увагу до людського чинника в організації робіт до забезпечення якості, а саме: репутація сервісної організації, стимулювання персоналу організації, культура спілкування зі споживачами, доступність персоналу для клієнтів, оперативність, надійність та гарантія надання послуг, безпека послуг, естетика місця надання послуг, формування сприятливого іміджу сервісної організації тощо.

Глибокий аналіз терміну “*система якості*” дозволяє зробити такі



висновки [94]:

- ❖ Система якості – це широка організаційна структура та діяльність, що здійснює не тільки функції управління якістю, але також включає елементи інших сфер діяльності підприємства, що суттєво впливають на якість продукції.
- ❖ Для забезпечення якості підприємству потрібні всі ресурси, що використовуються для реалізації функцій системою якості.
- ❖ Система якості включає в себе діяльність, за допомогою якої підприємство встановлює цілі та визначає основні процеси та ресурси для їх досягнення.
- ❖ Центральною (основною) частиною системи якості є служба якості підприємства, до складу якої включається відділ (бюро) управління якістю, відділ технічного контролю, метрологічна служба, відділ стандартизації, центральна лабораторія.

Таким чином, *система якості*, як динамічна система, структурується на ряд підсистем, які відносяться до різних сфер діяльності підприємства та здійснюють найбільший вплив на якість при виконанні своїх функцій встановленими методами з використанням необхідних ресурсів. Вказана система покликана управляти якістю та забезпечувати якість продукції.

*Система якості*, як інструмент управління якістю, є суб'єктом управління (активна ланка управління). Вона впливає на виробництво тим, що організує та регламентує виконання таких **функцій**:

- розробка політики якості;
- контроль якості продукції на всіх етапах її створення;
- збір, аналіз та розподіл інформації про якість випущених виробів та перспективних зразків, а також про досягнення науки, техніки та технології;
- розробка та впровадження у виробництво контролю і випробувань, що впливають як на усунення виявлених недоліків, так і на формування трьох зазначених вище основних факторів якості, а саме технологічних, людських і адміністративних (управлінських);
- розв'язання питань якості з постачальниками, споживачами, державними та територіальними органами.

Вказані функції природно близько пов'язані між собою, що, власне, і дає підставу для об'єднання їх у самостійну систему якості.

Міжнародний стандарт ISO 9000:2015 дає термінологічні рекомендації щодо розроблення формалізованої системи управління якістю в організації чи на підприємстві. До основних принципів побудови систем якості, що регламентовані міжнародними стандартами ISO серії 9000 належать такі:

1. **Обґрунтування систем управління якістю** з метою підвищення задоволеності потребам споживачів. Ці потреби мають бути відображені в технічних вимогах на продукцію і узагальнено позначені як вимоги споживача.

2. **Вимоги до систем якості та продукту** регламентуються в документах технічних вимог, стандартах на процеси та продукцію, контрактних угодах.

3. **Підхід з позицій системи якості** складається з таких етапів:

- визначення потреб споживачів, інших зацікавлених сторін;
- прийняття політики та завдань у сфері якості;
- визначення процесів, що необхідні для виконання завдань у сфері якості;



- визначення необхідних ресурсів, забезпечення ними;
- прийняття методів вимірювання ефективності кожного процесу та їх застосування;
- визначення способів попередження невідповідності, усунення їхніх причин;
- застосування процесу постійного вдосконалення системи якості.

4. **Науковий підхід з позицій процесу.** Ефективне функціонування підприємства не уможливується без наявності взаємопов'язаних процесів (вихід одного процесу може слугувати входом для іншого), якими треба безпомилково управляти. **Управління якістю** – збір й аналіз інформації, розробка заходів, впровадження заходів, реалізація управлінських функцій (планування, організація (як процес), мотивація, контроль), аналіз отриманих результатів.

Модель системи управління якістю, що базується на процесному підході, описується в стандартах ISO серії 9000. Ця модель в основі має процес випуску якісної продукції (надання послуги), в якому враховані процедури вимірювання, аналізу та поліпшення. Модель показує, що ключову роль в системі управління якістю відіграє наявність різноманітних ресурсів та відповідальність керівництва (рис. 7.16).



Рис. 7.16. Модель системи управління якістю, що базується на процесному підході (суцільна стрілка зображає види діяльності, а штрихова – інформаційні потоки)

5. **Політика та завдання у сфері якості.** Політика якості включає основні напрями і цілі організації у сфері якості. Політика та завдання вказують на бажані результати і допомагають підприємству застосовувати наявні ресурси для їх досягнення. З іншого боку, нова політика може сприяти до перегляду завдань в сфері якості.

6. **Місце вищого керівництва у системі якості.** Завдяки лідерству вище керівництво може створити атмосферу повного залучення працівників до формування та функціонування системи якості. В основу власної діяльності вище керівництво може покласти основні принципи менеджменту якості (принципи, на яких базується концепція TQM).

7. **Документація,** яка сприяє підвищенню рівня якості та забезпечення дотримання вимог споживачів. В системі якості використовуються такі типи документів:

- *настанови з якості* – документи, які містять погоджену інформацію про наявну на підприємстві систему якості;
- *програма якості* – документи, що описують застосування системи якості щодо конкретного продукту або проекту;
- документи *технічних вимог* або технічні описи;
- *настанови* – документи з викладом рекомендацій або вказівок;
- методика, робочі креслення, інструкції;
- *протоколи* – документи з об'єктивними доказами виконаних робіт або отриманих результатів.

8. **Оцінювання систем якості** – процедура визначення числових значень деяких параметрів (факторів), наприклад, оцінювання ефективності певного процесу. Результат оцінювання є *оцінка* у визначеній кваліметричній шкалі. Можливе застосування самооцінювання.

9. **Постійне вдосконалення.** Його метою є підвищення задоволеності споживачів продукцією (послугами) підприємства чи організації.

10. **Роль статистичних методів.** Статистичні методи (збір даних, їх обробка, обчислення мір центральної тенденції, моделювання процесів і явищ) дозволяють отримати *репрезентативну інформацію* (representativity of information) – представницьку інформацію, яка потрібна та достатня для прийняття обґрунтованих рішень.

11. **Система якості, як компонент в системі менеджменту організації,** яка включає завдання з фінансуванням організації, ефективним розвитком, збільшенням прибутковості, охороною праці, захистом довкілля тощо.

12. **Зв'язок між системами якості та моделями досконалості.** Цей зв'язок базується на спільних принципах, зокрема в критеріях порівняльної оцінки показників роботи.

Склад функцій менеджменту якості можна подати як:

- розробка політики в галузі якості промислових виробів і послуг;
- розробка планів удосконалення промислових виробів та поліпшення послуг;
- навчання та мотивація персоналу (навчання – це процес управління пізнавальною діяльністю працівників);

- організація робіт з якості;
- контроль якості;
- моніторинг інформації про якість та запити ринку;
- взаємодія постачальників товарів зі зовнішнім середовищем (споживачами) у питаннях якості;
- розробка необхідних заходів;
- прийняття рішень керівництвом;
- реалізація заходів.

## 7.6. Управління витратами на забезпечення якості

Витрати, що пов'язані з якістю. Функціонально-вартісний аналіз (ФВА). Застосування ФВА. Основні форми ФВА. Етапи ФВА. Моделі, які застосовуються при проведенні ФВА. Основні етапи та задачі ФВА. Формула виробничих витрат на j-ю функцію. Витрати на навчання та мотивація персоналу. Премії якості. Зв'язок понять стосовних якості.

Вище ми розглядали класифікацію витрат, яку запропонував А. Фейгенбаум, а саме:

- ✓ *категорія 1* – превентивні витрати;
- ✓ *категорія 2* – витрати на оцінювання якості;
- ✓ *категорія 3* – витрати від браку, тобто від невідповідностей.

Н.К. Розова вважає [175], що витрати пов'язані з якістю (ВПЯ), складаються з :

- витрат забезпечення та гарантування належного рівня якості продукції;
  - витрати, пов'язаних з втратами у разі недосягнення належного рівня якості.
- Власне самі витрати можна класифікувати ще таким чином:
- **базові витрати** – вартісна величина різних факторів виробництва: витрати на предмети і на засоби праці, заробітна плата, загальновиробничі витрати, загальногосподарські витрати;
  - **додаткові витрати:** на оцінювання якості, на запобігання втрати якості. Ці витрати також включають витрати на предмети і засоби праці, заробітну плату, витрати на продукцію, на техніку і технологію, на систему якості;
  - **інші додаткові витрати:** на невивірний брак, на виправлення браку та продукції неналежної якості, оплата збитку, нанесеного споживачам (морального, матеріального).

Всі вищевказані витрати фіксуються в кошторисі витрат на виробництво.

Розглянемо суть і застосування функціонально-вартісного аналізу (ФВА) при вдосконаленні якості продукції.

**Функціонально-вартісний аналіз (ФВА)** – наукова дисципліна зі системного дослідження функцій об'єкта (продукції, процесу, структури), спрямованого на мінімізацію (мін) витрат у сферах проектування, виробництва й експлуатації, при збереженні або підвищенні якості об'єкта.

**Предметом ФВА** є системи та їх елементи, результат взаємодії яких характеризується ефективністю задоволення суспільних і особистих потреб на рівні виконуваних функцій [41].

**Основні методи ФВА** – це методи аналізу функцій носіїв, алгоритмічні й евристичні методи творчого пошуку нових ідей і рішень, методи активізації мислення, методи техніко-економічного і системного аналізу структур, організаційні процедури.

**Об'єкти**, які аналізують методи ФВА можуть бути *вироби, процеси і структури, а також складові їх частини, які виступають як носії різних функцій.*

Метод ФВА почав активно застосовуватися в промисловості з 1960-х рр., насамперед, у США.

ФВА застосовується (може бути задіяний) при вирішенні наступних проблем:

- підвищення якості продукції;
- досягнення оптимального співвідношення “якість-ціна”;
- зниження собівартості продукції;
- скорочення або ліквідації браку;
- усунення вузьких місць і диспропорцій у виробництві продукції.

**Функціональність** означає розгляд продукту як комплексу виконуваних функцій.

**Системність** передбачає вивчення кожної функції продукту як самостійної системи, яка реалізована сукупністю матеріальних елементів і зв'язків між ними, з одного боку, і як частини системи більш високого порядку – з іншого.

**Економічність** означає необхідність аналізу витрат на функції продукції та їх матеріальні носії на всіх стадіях життєвого циклу (ЖЦ) продукту (від проектування до експлуатації).

**Принцип творчості** в ФВА пов'язаний з необхідністю активізації колективної роботи над продукцією, що припускає наявність не тільки індивідуальної, але й колективної творчості.

Існують **три форми ФВА**:

1. **Корегувальна** (використовується при вдосконаленні раніше створених продуктів).
2. **Інверсна** (використовується при пошуку нових сфер застосування продукції, уніфікації продукції).
3. **Творча** (застосовується при проектуванні нової продукції).

Розглянемо ФВА, який використовується в цілях вдосконалення якості об'єкта аналізу. Це процес послідовної побудови ряду специфічних **моделей об'єкта**, який аналізується. Як результат, досліджується характер взаємодій між елементами об'єкта, а також взаємодій об'єкта з надсистемою і навколишнім середовищем.

ФВА включає наступні основні етапи:

- 1) послідовна побудова моделей об'єкта ФВА;
- 2) дослідження моделей і розробка пропозицій щодо вдосконалення об'єкта аналізу.

При проведенні ФВА будуються такі різновиди моделей:

- **компонентна модель** (КМ) – систематизований перелік матеріальних компонентів об'єкта із зазначенням елементів надсистеми;

- **потокова модель** (ПМ) – графічне відображення характеру зв'язків між компонентами аналізованої системи в процесі її функціонування;
- **функціональна модель** (ФМ) – умовне графічне зображення складу та взаємодії функцій об'єкта;
- **функціонально-ідеальна модель** (ФІМ) – модель удосконаленого об'єкта, позбавленого всіх або частини шкідливих функцій і небажаних ефектів, виявлених на попередніх етапах ФВА (при збереженні або вдосконаленні корисних функцій).

Укрупнений алгоритм ФВА відображено у табл. 7.2.

Якщо матеріальним носієм (МН) виконується одна функція, то витрати на функцію визначаються собівартістю відповідного матеріального носія (деталі, блоку і т. д.).

Якщо МН виконуються декілька функцій  $j \in \overline{1, m}$ , то визначаються експертним шляхом участь кожного носія в реалізації функцій. Тоді виробничі витрати на  $j$ -ю функцію визначаються за формулою:

$$S_j = \sum_{i=1}^n \alpha_{ij} \cdot S_{ij}^{MN}, \quad (7.2)$$

де:  $n$  – число матеріальних носіїв, що забезпечують  $j$ -ю функцію МН;  $S_{ij}^{MN}$  – собівартість (прямі витрати)  $i$ -го носія на  $j$ -ю функцію МН;  $\alpha_{ij}$  – участь носія функції в її реалізації (частка одиниці).

Таблиця 7.2

Основні етапи та задачі ФВА

Етап ФВА	Задачі етапу
Підготовчий	Визначення <i>об'єкта аналізу</i> (ОА), цілей ФВА, глибини опрацювання, техніки проведення ФВА (учасники, матеріальна база, фінансування і т. д.); складання плану роботи
Інформаційний	Збір, обробка та аналіз інформації про об'єкт ФВА
Аналітичний	3.1. Визначення елементного складу ОА; 3.2. Виявлення зв'язків між елементами; 3.3. Формулювання функцій елементів; оцінювання рівня виконання цих функцій; 3.4. Визначення функціональної, проблемної та витратної значущості об'єкта; 3.5. Усунення виявлених на попередніх етапах недоліків, пов'язаних з окремими елементами об'єкта
Творчий	Розв'язання задач з підвищення споживчих властивостей об'єкта ФВА
Дослідницький	Перевірка працездатності отриманих рішень
Презентація (впровадження)	6.1. Підготовка звітів та рекомендацій. 6.2. Представлення результатів, їх впровадження, укладення договорів

## Витрати на навчання та мотивація персоналу

Цілі навчання:

- освоєння теорії управління якістю;
- зміна ставлення до проблем якості;
- пробудження свідомості.

На гуртках якості **вивчаються такі теми:**

- методи збору, аналізу та подання даних;
- засоби регулювання виробничих (технологічних) процесів (вибірковий контроль, контрольні карти);
- методи виявлення проблем (причинно-наслідкові діаграми, «мозкова атака» та ін.);
- методи групового ситуаційного аналізу.

Процес навчання повинен проходити окремо для вищого, середнього і лінійного ланок управління.

**Мотивація** співробітників повинна базуватися на суспільному визнанні заслуг і винагород працівників, що досягли успіхів у вдосконаленні якості.

До *основних форм визнання заслуг співробітників організації* прийнято відносити:

1. Матеріальна винагорода.
2. Суспільне визнання особистості:
  - 2.1) просування по службі;
  - 2.2) цінні подарунки;
  - 2.3) розміщення фотографії на спеціальному стенді;
  - 2.4) спеціальні завдання і т. д.
3. Суспільне визнання колективу:
  - 3.1) організація колективного відпочинку за рахунок фірми;
  - 3.2) вручення грамот, значків і знаків у присутності колег по фірмі;
  - 3.3) публікації повідомлень про досягнення колективу в пресі;
  - 3.4) надання інформації про досягнення на розгляд вищого керівництва фірми.

**Премії якості:**

- ✓ премія Демінга (Японія, 1951 р.);
- ✓ премія Болдріджа (США, 1987р.);
- ✓ Європейська премія (1992 р.).

Створення якості безпосередньо пов'язане з професіоналізмом розробників. Це положення зафіксоване в міжнародному стандарті ДСТУ ISO 9000 : 2007, в якому виділені поняття, що пов'язані з доведеною здатністю застосовувати знання та вміння (рис. 7.17).

**Підсумок до розділу:**

- ✓ До управління якістю необхідний *системний підхід*, який зачіпає всі стадії ЖЦ продукту;
- ✓ Основною моделлю якості в даний час є *“петля якості”*;
- ✓ Для якості, як об'єкта управління, характерні такі *процеси*, як *планування, контроль, аналіз, регулювання* (ці процеси поряд з іншими роботами по

забезпеченню та вдосконаленню якості відбуваються в рамках системи управління якістю організації);

- ✓ Значну роль в управлінні якістю продовжує відігравати **контроль**, що передбачає виявлення браку і його причин;
- ✓ Існують різні **методи контролю якості**, серед яких особливе місце займають статистичні методи;
- ✓ Сучасна система якості велику увагу приділяє **навчанню та мотивації** співробітників фірми;
- ✓ Рівень якості суттєво залежить від компетентності розробників та виробників об'єктів (продукції, процесу, структури);
- ✓ На рівні суспільства визнання заслуг організацій в галузі вдосконалення якості відбувається у формі присудження фірмам премій якості.

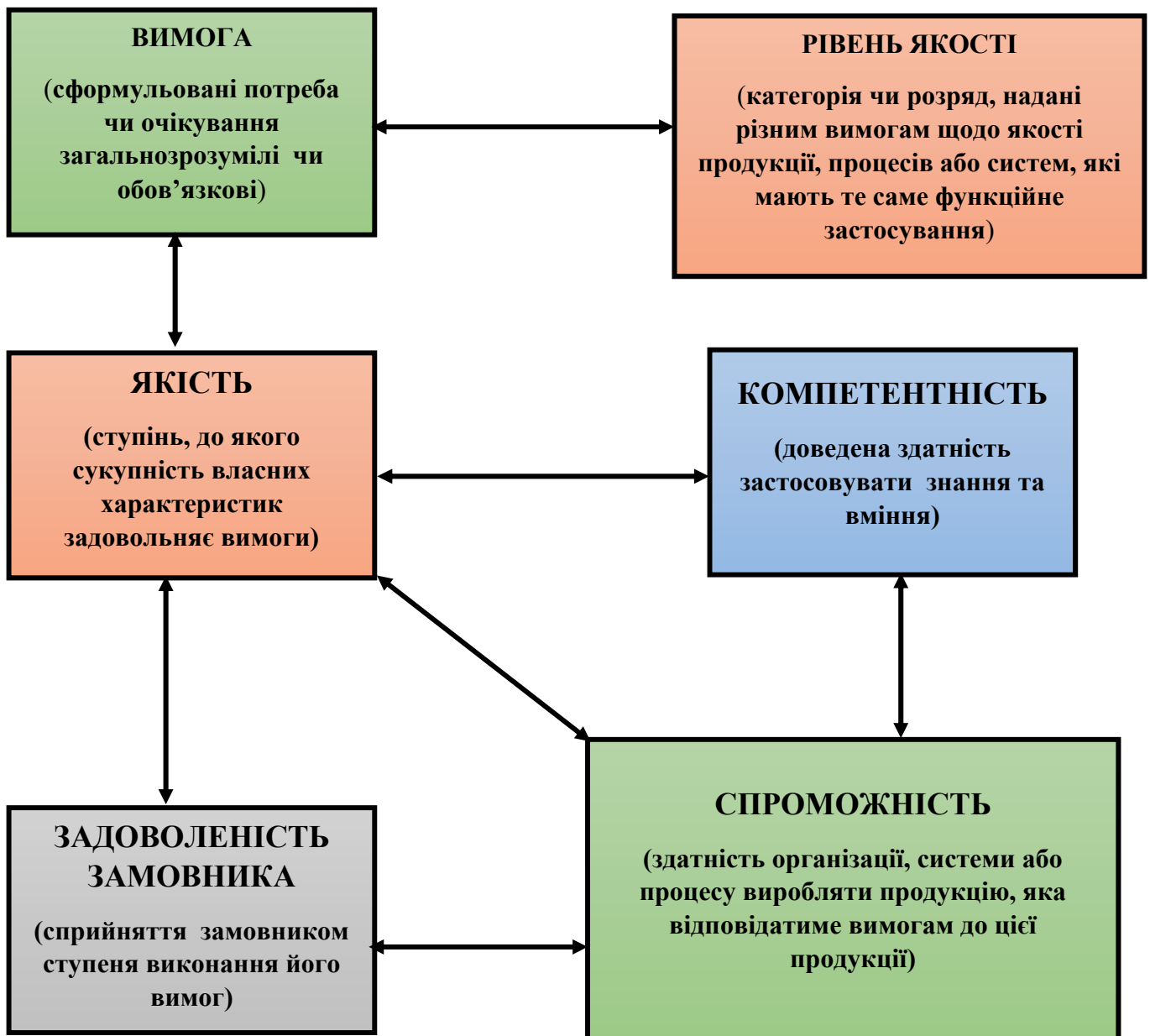


Рис. 7.17. *Поняття стосовно якості*

## Контрольні запитання

№ з/п	Контрольні запитання	№ з/п	Контрольні запитання
1.	Яка суть управління якістю продукції ?	52.	Охарактеризуйте об'єкт менеджменту якості.
2.	Що таке об'єкт управління ?	53.	Назвати історичні етапи розвитку управління якістю.
3.	Що таке суб'єкт управління ?	54.	Проаналізуйте історичні етапи розвитку концепцій управління якістю.
4.	Охарактеризуйте найпростішу модель управління якістю.	55.	У чому суть методу "Модель Кано" ?
5.	Охарактеризуйте основні поняття, що відносяться до функціонування якості.	56.	Що таке «Філософія організації» ?
6.	Що таке блочно-структурна модель управління якістю ?	57.	Дати означення, що таке концепція «Загального управління якістю» (TQM)?
7.	Як розвивалась концепція якості на фоні розвитку менеджменту ?	58.	Які три етапи розвитку TQM ?
8.	Проаналізувати наукову школу менеджменту: школа наукового управління.	59.	Які фактори впливають на досягнення цілей TQM ?
9.	Проаналізувати наукову школу менеджменту: адміністративна школа.	60.	Що називається науковою моделлю ?
10.	У чому суть принципів Г. Емерсона?	61.	Що називається науковим моделюванням ?
11.	У чому суть принципів управління підприємством за А. Файолем ?	62.	На яких принципах базується концепція TQM ?
12.	Що таке школа людських відносин ?	63.	Пояснити суть японської методології робочого місця "5S".
13.	Що таке біхевіоризм ?	64.	Що таке «CALS-технологія» ?
14.	Що таке економіко-математичний підхід в управлінні?	65.	Розкрити суть методу аналізу на варіабельність процесу.
15.	У чому суть теореми Р. Калмана ?	66.	Що таке «бенчмаркінг» ?
16.	Які принципи лежать в основі основних концепцій якості ?	67.	Які переваги від використання фірмою методології TQM ?
17.	Охарактеризуйте принципи Е. Демінга.	68.	Пояснити суть моделі концепції якості: модель Фейгенбаума.
18.	Охарактеризуйте принципи Дж. Джурана.	69.	Пояснити суть моделі концепції якості: модель Джурана.



19.	Що таке «Схема безперервного поліпшення якості за Дж. Джураном» ?	70.	Пояснити суть моделі концепції якості: Еттінгера-Сіттіга.
20.	Сформулюйте принципи Ф. Кросбі.	71.	Пояснити суть моделі концепції якості: модель “Петля якості”,
21.	Що таке чинники П. Берха досягнення загальної якості ?	72.	Пояснити суть моделі концепції якості: модель “Цикл Демінга”.
22.	Дайте аналіз концепції Г. Тагуті з статистичного контролю якості.	73.	Пояснити суть моделі концепції якості: модель “Трилогія Джурана”.
23.	Що таке показник виконавчої здатності ?	74.	Пояснити суть моделі концепції якості: модель ділової досконалості.
24.	Які втрати несе суспільство від неякісного продукту ?	75.	Дати означення терміну «Система якості».
25.	Здійснити порівняльний аналіз принципів концепцій якості.	76.	Проаналізувати термін «Система якості».
26.	Що таке методологія ?	77.	Що таке «Управління якістю» ?
27.	Які види має методологія ?	78.	Що таке «Система управління якістю»?
28.	Що таке науковий метод ?	79.	Що таке «Менеджмент якості»?
29.	Які компоненти має науковий метод?	80.	Що таке «Ресурс» ?
30.	Дайте означення терміну «Управління якістю».	81.	Які види ресурсів має організація ?
31.	Які компоненти входять до наукових основ управління якістю ?	82.	Що таке «послуга» ?
32.	Що таке «Система управління якістю» ?	83.	Які загальні функції управлінського циклу в системі управління якістю ?
33.	Що таке «Система якості » ?	84.	Дати аналіз системи якості, як інструмента управління якістю.
34.	Яка сукупність понять входять до «Якості продукції» ?	85.	Сформулювати основні принципи побудови систем якості, що регламентовані міжнародними стандартами ISO серії 9000.
35.	Охарактеризуйте сукупність понять, які входять до «Якості продукції» ?	86.	У чому суть процесного підходу ?
36.	Сформулюйте загальносистемні принципи управління якістю.	87.	У чому суть системного підходу ?
37.	Сформулюйте функції управління якістю.	88.	У чому суть ситуаційного підходу ?
38.	Опишіть японський досвід управління якістю.	89.	Описати модель системи управління якістю, що базується на процесному підході.

39.	Що таке «Гуртки якості» ?	90.	Які витрати пов'язані з якістю ?
40.	Яке призначення мають «Гуртки якості» ?	91.	Які дві складові витрат, пов'язаних з якістю ?
41.	На яких засадах створюються «Гуртки якості»?	92.	Що таке «Функціонально-вартісний аналіз» (ФВА) ?
42.	У чому суть методу «Сім основних інструментів контролю за якістю» ?	93.	Яка сфера застосування ФВА ?
43.	Які основні задачі реалізує метод «Сім основних інструментів контролю за якістю» ?	94.	Які основні форми ФВА ?
44.	Які основні інструменти застосовує метод «Сім основних інструментів контролю за якістю» ?	95.	Які основні етапи ФВА ?
45.	Що таке «Життєвий цикл продукції» ?	96.	Які застосовуються моделі при проведенні ФВА ?
46.	Які складові має петля («спіраль») якості ?	97.	Які основні етапи ФВА ?
47.	Що таке «Парадигма» ?	98.	Які основні задачі ФВА ?
48.	Що таке «Наукове знання» ?	99.	Написати формулу виробничих витрат на j-ю функцію в методі ФВА.
49.	Як розвивається наукове знання за концепцією К. Поппера ?	100.	У чому суть витрат на навчання та мотивацію персоналу ?
50.	Що таке «Об'єкт управління якістю» ?	101.	Які існують премії якості ?
51.	Що таке «Суб'єкт управління якістю» ?	102.	Покажіть зв'язок понять стосовно якості.



---

## Розділ 8. СТАТИСТИЧНІ МЕТОДИ Й ІНСТРУМЕНТИ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ

---



*“Якість – це робити що-небудь правильно, навіть коли ніхто не дивиться”*

Генрі Форд

---

### 8.1. Оцінювання та вимірювання показників якості

---

Показники якості та їх класифікація. Кваліметрія та її завдання. Методи оцінювання якості. Комплексні показники якості. Показники з оцінювання системи якості. Два типи показників якості послуг. Система якості. Модель Маркова (ланцюги Маркова) потоків відмов і відновлення системи якості. Рівні якості. Шкали оцінювання та вимірювання рівнів якості. Основні етапи процесу оцінювання рівня якості. Шкали.

---



Останній розділ посібника обрамлює афоризм інженера, промисловця, засновника “Форд мотор компанії” (*Ford Motor Company*), яка існує до цього дня. **Генрі Форд** (1863-1947) був видатним організатором поточно-конвеєрного виробництва легкових автомобілів у США, автор 161 патенту. З його гасла “автомобіль для всіх” почалася світова епоха автомобілебудування. У своїй книзі “Мое життя, мої досягнення” Г.Форд виклав один із своїх девізів: *“Поменше адміністративного духу в діловому житті і побільше ділового духу в адміністрації”*. Як відзначає сам Форд, цей девіз дуже хороший, не тільки тому, що він корисний і в справах і в управлінні державою, а й тому, що він корисний народу. Г. Форд один із перших підприємців, який на практиці втілював вимоги (побажання) споживачів у показники автомобілів, сприяючи постійному підвищенню їх якості.

Якість – це відповідність всім необхідним технічним вимогам, які визначені в робочих кресленнях, технічних умовах та інших подібних документах. З іншого боку, якість визначає покупець. Це означає, що особливості та характеристики розробки виробу повинні безпосередньо відображати саме таку якість, яку вимагає покупець. При цьому покупець навряд чи буде говорити понад двох-трьох показників. Залежність якості виробу від показників ми розглянемо далі в методі розгортання функції якості (QFD).

**Показник** – “...кількісна характеристика будь-якої властивості об’єкта, який розглядається” [128, с. 437]. У свою чергу, **показники якості** – “...кількісно або якісно встановлені конкретні вимоги до характеристик (властивостей) об’єкта, що дають можливість їх реалізації і перевірки [175, с. 50].

Показники класифікуються залежно від вибору ознаки (критерію) класифікації (табл. 8.1).

Розглянемо ряд показників якості.

**1. Показники призначення** характеризують основні функціональні властивості продукції і обумовлюють діапазон її застосовності. До них відносяться

такі показники: класифікаційні, складу та структури, соціальні (своєчасний вихід на ринок, моральне старіння та ін.), функціональні (продуктивність, швидкість, обсяг пам'яті, ККД, швидкодія та ін.).

Таблиця 8.1

Класифікація показників якості [175].

№ з / п	Ознака класифікації	Типи показників
1	Відношення до властивостей продукції	1.1. Призначення 1.2. Надійності 1.3. Технологічності 1.4. Ергономічні 1.5. Естетичні 1.6. Стандартизації 1.7. Патентно-правові 1.8. Економічні
2	Кількість відображених властивостей	2.1. Поодинокі 2.2. Комплексні 2.3. Інтегральні
3	Метод визначення	3.1. Інструментальні 3.2. Розрахункові 3.3. Статистичні 3.4. Органолептичні 3.5. Експертні 3.6. Соціологічні 3.7. Комбіновані
4	Стадія визначення	4.1. Проектні 4.2. Виробничі 4.3. Експлуатаційні 4.4. Прогнозовані
5	Розмірність відображених величин	5.1. Абсолютні 5.2. Зведені 5.3. Безрозмірні
6	Значимість при оцінюванні якості	6.1. Основні 6.2. Додаткові

**2. Показники надійності** характеризують здатність продукції до збереження працездатності при дотриманні певних умов експлуатації та технічного обслуговування. Це такі показники, як: безвідмовність, довговічність, ремонтпридатність, збереженість та ін.

**3. Показники технологічності** пов'язані з досконалістю конструктивно-технологічних рішень продукції, що обумовлюють високу продуктивність праці при виготовленні, ремонті та технологічному обслуговуванні.

4. **Ергономічні показники** характеризують пристосованість продукції до антропометричних, фізіологічних, психофізіологічних і психічних властивостей споживача, які проявляються в системі “людина – виріб – навколишнє середовище”.

5. **Естетичні показники** пов'язані зі здатністю виробу до вираження краси в предметно-чуттєвій формі (відображають властивості гармонійності, оригінальності, інформаційної виразності, раціональності форми тощо).

6. **Показники стандартизації** характеризують відповідність продукції стандартам, а також її насиченість стандартними, уніфікованими і оригінальними елементами.

7. **Економічні показники** відображають витрати на розробку, виготовлення і експлуатацію продукції (повна собівартість, ціна продукції, витрати на упаковку і т. д.).

Перераховані вище показники діляться також дихотомічно на:

❖ **Якісні показники**, коли продукція або послуга класифікується залежно від ступеня переважання (“переважності”) або засобу порівняння. Зокрема, **якісні показники послуг** такі: ввічливість, доступність персоналу, чуйність, компетентність, довіра персоналу, рівень професійної майстерності, щирість, ефективність контактів виконавців і клієнтів тощо.

❖ **Кількісні показники** визначають рівень якості та міру якості, коли точна технічна оцінка визначена кількісно. Зокрема, **кількісні показники послуг** такі: час очікування та надання послуг, технічні характеристики обладнання, інструменту, матеріалів тощо, надійність надання послуги, точність виконання, повнота, рівень автоматизації та механізації, безпека, повнота надання послуги тощо.

**Кваліметрія** (лат. *qualitas* – якість; + грец. *metreo* – вимірюю) – наука, яка вивчає кількісні методи оцінки якості будь-яких об'єктів (предметів, виробів, послуг, процесів, явищ, систем тощо).

Кваліметрія ставить перед собою три основні практичні завдання:

- 1) розробку методів визначення чисельних значень показників якості продукції, збору й обробки даних для встановлення вимог до точності показників;
- 2) розробку єдиних методів вимірювання та оцінки показників якості;
- 3) розробку одиничних, комплексних та інтегральних показників якості продукції.

До **методів оцінювання якості**, що використовуються в кваліметрії, відносяться такі методи [175]:

1. **Інструментальний**, заснований на використанні засобів вимірювань. Розрізняють автоматизовані, механізовані і ручні методи вимірювання.

2. **Розрахунковий**, що полягає в обчисленнях за значеннями параметрів продукції, знайденим іншими методами.

3. **Статистичний**, що використовує правила математичної статистики і заснований на підрахунку числа подій або об'єктів (наприклад, при визначенні відсотка бракованих виробів від їх загального числа).

4. **Органолептичний**, заснований на аналізі сприйняття продукції *органами відчуття* без застосування технічних вимірювальних засобів. Розрізняють: а) дистантні відчуття (зір, слух, нюх); б) контактні відчуття (смак, дотик, біль,

температурні, тактильні та вібраційні відчуття); в) глибинні відчуття (чуттєвість м'язова, вестибулярна та від внутрішніх органів).

5. Експертний, що базується на врахуванні думок про якість продукту, які генеруються групою фахівців-експертів.

6. Соціологічний, заснований на зборі та аналізі думок споживачів даної продукції.

7. Комбінований, що включає декілька методів визначення показників якості.

Позначимо кількісний показник (від англ. quantitative measure) якості знаком  $q$ . Будемо відрізняти *одиничні показники* якості (відносяться до однієї властивості) і *комплексні показники* якості (пов'язані з кількома властивостями одночасно).

Нехай  $q_i$  – одиничний показник якості;  $n$  – число одиничних показників якості;  $w_i$  (від англ. *weight* – вага) – ваговий коефіцієнт показника якості  $q_i$ .

Тоді *комплексні показники якості* такі:

1. Середнє арифметичне

$$\bar{q} = \frac{\sum_{i=1}^n w_i \cdot q_i}{\sum_{i=1}^n w_i}. \quad (8.1)$$

2. Середнє геометричне зважене

$$\bar{q}^{\text{геом.}} = \frac{\prod_{i=1}^n q_i}{\sum_{i=1}^n w_i}. \quad (8.2)$$

3. Середнє квадратичне зважене

$$\bar{q}^{\text{кв}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n w_i \cdot q_i^2}{\sum_{i=1}^n w_i}}. \quad (8.3)$$

4. Середнє гармонійне зважене

$$\bar{q}^{\text{гарм.}} = \frac{\sum_{i=1}^n w_i}{\sum_{i=1}^n \frac{w_i}{q_i}}. \quad (8.4)$$

Чисельні значення показників якості однорідної продукції при масовому або серійному виробництві зазвичай визначаються за сукупністю основних її статистичних параметрів.

**Стабільність** основних параметрів продукції характеризується кількісними величинами їх розсіювання. Стабільне виробництво визначається мінімальними значеннями розсіювання. Розсіювання показників якості продукції можна характеризувати **показниками однорідності**:

а) Середнє квадратичне відхилення

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (q_i - \bar{q})^2}{n-1}}, \quad (8.5)$$

де  $\bar{q} = \sum_{i=1}^n q_i / n$  – середнє арифметичне значення показника якості продукції;

$q_i$  –  $i$ -е значення показника якості продукції.

б) дисперсія

$$D = \sigma^2. \quad (8.6)$$

в) коефіцієнт варіації

$$V_i = \frac{\sigma_i}{q_i} \quad (8.7)$$

Для оцінювання **системи якості** (СЯ) можна використовувати такі **групи показників** [138]:

1. Загальний стан СЯ, що характеризує цілеспрямованість, надійність, адаптивність, самокерованість.
2. Виробничої підсистеми СЯ, що включає рівні її елементів і компонентів.
3. Керуючої підсистеми СЯ, що включає всі рівні її елементів і компонентів.
4. Забезпечуючі підсистеми СЯ (діловодства, нормативна та ін.).
5. Лінійної підсистеми СЯ.

Зазначимо, що СЯ відносяться до відновлювальних систем.

У міжнародних стандартах ISO серії 9000 дано нове трактування категорії "якість", згідно з яким **якість** характеризується як *ступінь, з якою сукупність власних характеристик об'єкта виконує вимоги*.

Таким чином, стандарти виходять з того, що якість об'єкта визначається його споживчими властивостями.

Подібна постановка питання видається природною, так як для споживача важливо в першу чергу те, наскільки об'єкт задовольняє його потреби. Однак більш повним, на наш погляд, можна вважати таке означення:

**Якість** – це визначеність, що включає сукупність властивостей об'єкта, що дозволяють йому задовольняти різні рівні потреб і знаходяться в постійному русі, змінах, перетвореннях.

Таке означення відноситься не тільки до якості продукції та послуг, які виступають об'єктом купівлі-продажу на ринку, але також до якості різних соціальних процесів і явищ, таких, як якість освіти і якість трудового життя. Воно

відображає сучасний рівень розуміння проблеми якості, вирішення якої є пріоритетом соціально-економічного розвитку в усьому світі.

Відзначимо, що **показники якості послуг** можна поділити на два типи:

1. **Кількісні показники** (характеристика обладнання, інструменту, матеріалів тощо; проміжок часу очікування та надання послуги; надійність надання послуги; точність виконання; повнота; рівень автоматизації та механізації; безпека; повнота надання послуги і т. ін.
2. **Якісні показники** (ввічливість, щирість, чуйність, компетентність, рівень професійної майстерності, доступність персоналу, довіра персоналу, ефективність контактів виконавців і клієнтів тощо).

Як основні показники надійності СЯ, що випускає продукцію I-ої категорії (продукція певних корисних якостей, але нижче світових стандартів), доцільно прийняти граничні ймовірності справної роботи та відмови (“простою”), тобто відносні частки часу, протягом яких система буде відповідно забезпечувати безперебійне управління (керування) якістю і перебувати в стані бездіяльності (“простою”).

П→ Нехай стан знаходження СЯ в момент часу  $t$  не залежить від стану в початковий момент часу  $t_0$ , тоді величина ймовірності будь-якого зі станів СЯ буде величиною постійною, тобто

$$\lim_{n \rightarrow \infty} P_i(t) = P_i = \text{const.} \quad (8.8)$$

Таким чином, маємо **залежні випробування**, в яких на довільному кроці  $s$  імовірність настання певної події залежить лише від результату попереднього  $s - 1$  кроку, але не залежить від тих, що були раніше, та від номера кроку  $s$ .

Така послідовність називається однорідним ланцюгом Маркова, який може бути скінченним чи нескінченним. Іншими словами, **однорідний ланцюг Маркова** – послідовність випадкових подій з кінцевим або зліченим числом результатів, що характеризується тією властивістю, що, кажучи нестрого, при фіксованому сьогоднішньому майбутнє не залежить від минулого.

Ланцюги Маркова названі так на честь видатного російського математика, Андрія Андрійовича Маркова (1856-1922), який багато займався випадковими процесами і зробив великий вклад у розвиток цієї наукової галузі.

Останнім часом можна почути про застосування ланцюгів Маркова в самих різних сферах: сучасних веб-технологіях, при аналізі літературних текстів чи навіть при розробці тактики гри футбольної команди.

Зручно вважати подію як певний стан системи  $\omega_i, i = \overline{1, n}$ , де число станів системи  $n$  може бути скінченним чи нескінченним. Тоді ймовірність переходу  $p_{ij}$  системи зі стану  $\omega_i$  в стан  $\omega_j$ , за умови, що перебування в стані  $\omega_i$  безпосередньо передуює перебуванню в стані  $\omega_j$ , є умовною ймовірністю:

$$p_{ij} = P(\omega_j | \omega_i). \quad (8.9)$$

Набір коефіцієнтів  $p_{ij} (i = \overline{1, n})$  утворює матрицю переходу  $\pi = \|p_{ij}\|$  за один крок.

Елементи матриці невід’ємні, а сума елементів кожного рядка дорівнює одиниці  $\sum_{j=1}^n p_{ij} = 1$ .



Потоки відмов і відновлень СЯ досить реально можна представити математичною моделлю, що відображає *процеси Маркова*. Відновлення елементів, які відмовили, може здійснюватися як за обмеженої, так за необмеженої можливостей.

Під *марковською моделлю* розуміємо систему диференціальних рівнянь, подану у векторно-матричній формі запису:

$$\frac{d}{dt} \vec{p}(t) = \Lambda \cdot \vec{p}(t), \quad (8.10)$$

де  $d / dt$  – похідна за часом від кожного елемента вектор-стовпця;  $t$  – час, який без обмеження загальності, вважається характеристикою *напрацювання*;  $\vec{p}(t)$  – вектор-стовпець ймовірностей станів СЯ, або фаз;  $\Lambda$  – матриця інтенсивності переходів між станами системи, або між фазами.

Векторно-матричну форму запису необхідно доповнити вектор-рядком початкових ймовірностей станів  $\vec{p}(0)$ . Формування марковської моделі зводиться до визначення матриці інтенсивності переходів  $\Lambda$  та вектор-рядка початкових ймовірностей  $\vec{p}(0)$ . Таку модель також подають у графічній формі – діаграмою станів та переходів, яка однозначно зв'язана із  $\Lambda$  та з  $\vec{p}(0)$ . ◀

З розвитком науково-технічного прогресу проблема якості не спрощується, а, навпаки, стає складнішою. Тому вирішувати її традиційними методами, тобто лише шляхом контролю якості готової продукції, практично неможливо. Повинен бути комплексний, системний підхід, реалізація якого можлива лише в рамках системи управління якістю. Відомий американський спеціаліст Едвард Демінг ще в 1950 р. писав, що на 85% вирішення проблеми якості залежить не від людей, а від системи управління якістю.

Категорію якість можна розуміти двояко:

- 1) як економічну категорію, що відбиває сукупність властивостей продукції та ступінь її придатності задовольняти потреби людини відповідно до свого призначення;
- 2) як сукупність властивостей, які відображають безпеку, новизну, довговічність, надійність, економічність, ергономічність, естетичність, екологічність продукції тощо, які надають їй здатність задовольняти споживача відповідно до її призначення.

*Рівень якості* – це кількісна характеристика міри придатності того чи іншого виду продукції для задоволення потреб споживачів. Це означає, наскільки продукція підприємства (фірми) придатна виконувати функції за своїм призначенням і задовольняти вимоги споживачів.

Рівень якості класифікується на такі види:

- технічний;
- економічний;
- технічно-економічний;
- ергономічний;
- екологічний;
- споживчий тощо.

З другого (формального) боку, порівняльний рівень якості є результатом оцінювання чи вимірювання, тобто завжди має порівняльний характер та залежить від бази порівняння.

Очевидно, що принципово при порівнянні з *базою порівняння* можна застосовувати будь-які кваліметричні шкали, а саме:

- ❖ Різницеву шкалу, в якій порівняльний рівень набуває зміст відхилення від бази оцінки.
- ❖ Шкалу відношень, в якій вимірюється відносний рівень якості.
- ❖ Шкала абсолютна, в якій вимірюється інтенсивна кількість якості. Наприклад, безвідмовність приладу, точність вимірювання приладом, питома (на одиницю ефекту) маса приладу.

Таким чином, рівень якості переважно ототожнюють з *технічним рівнем об'єкта техніки і технології*, який відображає рівень прийнятих на етапі проектування технічних рішень, використання в них досягнень науково-технічного прогресу та забезпечення задоволення зростаючих потреб людей.

Якщо  $n$  – кількість задоволених споживачів,  $c$  – витрати (*costs*) на задоволення потреб при виробництві та експлуатації продукції, то рівень якості  $U_y$  визначається так:

$$U_y = n / c . \quad (8.11)$$

*Процес оцінювання (вимірювання) якості має результат – числову оцінку (числове значення певної величини у визначених одиницях).*

Зокрема, *оцінювання рівня якості* слід розглядати як сукупність операцій, здійснюваних в залежності від встановленої мети та які включають вибір номенклатури показників якості оцінюваного об'єкта, визначення чисельних значень цих показників і порівняння їх з базовими, тобто з конкурентними, еталонними тощо .

Оцінювання якості продукції, що виробляється (проектуюється), передбачає визначення абсолютного, відносного, перспективного та оптимального її рівнів:

- *абсолютний рівень якості* – рівень, який визначають обчисленням вибраних для його характеристики показників, не порівнюючи їх із відповідними показниками аналогічних виробів;
- *відносний рівень якості* – рівень, який отримується шляхом порівняння показників якості з абсолютними показниками якості найкращих вітчизняних та зарубіжних аналогів;
- *перспективний рівень якості* – рівень, який враховує пріоритетні напрями і темпи розвитку науки й техніки;
- *оптимальний рівень якості* – рівень, за якого загальна величина суспільних витрат на виробництво й використання продукції за певних умов споживання була б мінімальною.

Типові види рівнів якості оцінюються з урахуванням *стадій життєвого циклу товару (ЖЦ): дослідження, проектування, виготовлення, товарообігу, використання, утилізації або знищення* [221].

Основні етапи процесу оцінювання рівня якості подано на рис. 8.1.



Рис. 8.1. Основні етапи процесу оцінювання рівня якості

## 8.2. Теоретико-ймовірнісні моделі контролю й аналізу якості

Цілі контролю якості продукції. Суцільний контроль і вибірковий. Використання математичної статистики в контролі якості продукції. Аналіз законів розподілу дискретних і неперервних випадкових величин, які застосовуються в системах контролю та моделюванні процесів контролю якості продукції: гіпергеометричний, біноміальний, Пуассона та нормальний закони розподілу ймовірностей. Теоретико-ймовірнісні моделі якості продукції, побудовані на основі локальної та інтегральної теорем Муавра-Лапласа.

**Контроль якості продукції** переслідує такі цілі:

- 1) встановлення відповідності продукції та процесів вимогам нормативно-технічної документації, зразкам-еталонам;
- 2) отримання інформації про перебіг виробничого процесу та підтримання його стабільності;
- 3) захист підприємства від постачань недоброякісної сировини, матеріалів, комплектуючих, енергоносіїв та ін.;
- 4) виявлення дефектної продукції на ранніх етапах;
- 5) запобігання випуску недоброякісної продукції.

За способом вибору контрольованої продукції розрізняють суцільний (100-відсотковий) і вибірковий контроль.

**Суцільний контроль** є трудомістким і дорогим, тому що передбачає огляд й аналіз всієї продукції без винятку.

**Вибірковий контроль** – контроль, при якому контролюю піддають частину продукції, яка термінологією теорії статистики має назву “**вибірка**”.

Якщо якість продукції у вибірці відповідає встановленим вимогам, то вся партія вважається такою, що відповідає цим вимогам; якщо ж не відповідає, то вся партія виробів бракується. Проте при вибіркового контролю можуть бути **ризик** двох видів:

- 1) **ризик постачальника** – імовірність помилкового бракування;
- 2) **ризик замовника** – визнання партії виробів придатної для споживання.

Ймовірність попадання дефектних виробів у вибірку може мати різні ймовірнісні розподіли диференціальної функції, або щільності розподілу  $f(x)$  ймовірностей неперервної або дискретної випадкової величини  $X$ .

Якщо  $f(x)$  є неперервна, то можна знайти **інтегральну функцію**  $F(x)$  за формулою:

$$F(x) = \int_{-\infty}^x f(x) dx \equiv P(X < x), \quad (8.12)$$

де властивості диференціальної функції такі  $f(x) \geq 0$ ;  $\int_{-\infty}^{\infty} f(x) dx = 1$ ,  $f(x) = \frac{dF(x)}{dx}$ .

При використанні математичної статистики в системах контролю й управління процесами слід розрізняти такі дві проблеми, які пов'язані:

- ❖ З розподілом контрольних показників на виході процесу (розподілом ознак якості та їх невідповідності в партіях). Мається на увазі аналіз результату роботи технологічного процесу виробництва як генератора випадкових чисел – показників якості продукції.
- ❖ З моделюванням (статистичним описом) процедур контролю. Тут мова йде про математичне подання способів отримання й обробки інформації, про характеристики вже виготовленої продукції, про адекватність і точність контролю, як самостійного процесу, на виході якого повинні бути сформовані надійні управлінські рішення.

Як правило, при вибіркового контролі застосовують закони розподілу дискретних і неперервних випадкових величин, які застосовуються в системах контролю та моделювання процесів контролю якості продукції. До них відносяться гіпергеометричний, біноміальний, пуассонівський та нормальний закони розподілу.

### 1. Гіпергеометричний закон розподілу ( $\mathcal{T}$ )

Сфера застосування гіпергеометричного закону розподілу – дискретні випадкові величини. Нехай маємо скінченну множину  $N$ , яка складається зі скінченної кількості елементів. Кількість елементів у скінченній множині  $N$  називається **потужністю множини**  $N$  і позначається  $|N|$ . Виділимо у вказаній множині  $N$  підмножину  $M$  ( $M \subset N$ ), яка має деяку ознаку (властивість)  $\mathcal{T}$ . Випадковим чином із цієї множини  $N$  добувають  $n$  елементів без повернення. Вважаємо, що  $n < M$ .

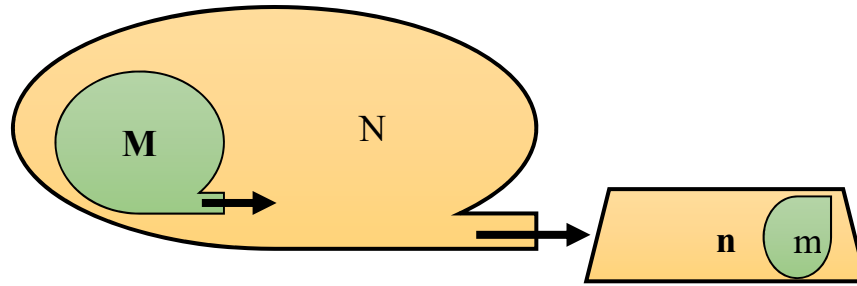


Рис. 8.2. До пояснення гіпергеометричного закону розподілу

Нехай випадкова величина  $X$  визначає число елементів із вибраних  $n$ , які мають ознаку  $\mathcal{T}$ . Тоді випадкова величина  $X$  приймає наступні значення:

$$P(X=0) = \frac{C_{N-M}^n}{C_N^n}; \quad P(X=1) = \frac{C_M^1 \cdot C_{N-M}^{n-1}}{C_N^n}; \quad P(X=2) = \frac{C_M^2 \cdot C_{N-M}^{n-2}}{C_N^n}; \quad \dots; \quad P(X=n) = \frac{C_M^n}{C_N^n}.$$

**Гіпергеометричним розподілом** називається розподіл дискретної випадкової величини  $X$ , яка може приймати значення  $m = 0, 1, 2, 3, \dots, \min(n, M)$ , а ймовірності цих значень знаходяться за формулою:

$$P(X=m) = \frac{C_M^m \cdot C_{N-M}^{n-m}}{C_N^n}, \quad (8.13)$$

де величини  $N, M, n$  – параметри даного розподілу, а саме:

$N$  – загальна кількість елементів;

$M$  – число елементів, які мають задану властивість  $\mathcal{T}$ ;

$n$  – число елементів, які витягнуті із множини  $N$  елементів;

$m$  – число елементів із відібраних, які мають задану властивість.

Складові виразу (8.13) визначаються за основною формулою комбінаторики, тобто формулою числа комбінацій з  $n$  елементів по  $k$ :

$$C_n^k = \frac{n!}{k! \cdot (n-k)!}, \quad (8.14)$$

де приймається, що  $0! = 1$ .

Зазначимо, що у випадку  $n \ll N$ , гіпергеометричний розподіл дає ймовірності, які близькі до ймовірностей, знайденим за біноміальним законом.

**ДВ** → Без доведення наведемо формули математичного сподівання  $\mu$  та дисперсії  $D(X)$  вказаного розподілу:

$$\mu \equiv M(X) = \frac{n \cdot M}{N}; \quad D(X) = \frac{n \cdot M \cdot (N-M) \cdot (N-n)}{N^2 \cdot (N-1)}. \quad \blacktriangleleft \quad (8.15)$$

Гіпергеометричний розподіл застосовується на практиці при розв'язанні задач, які пов'язані з контролем якості продукції. Наведемо приклад та розв'язання такої задачі.

**Пр. 1.** → Випадковим чином вибираються дві деталі з партії, що складається з 12 деталей. Відомо, що в партії 3 деталі є браковані. Випадкова величина  $X$  визначає число бракованих деталей у вибраних двох. Побудувати ряд розподілу даної випадкової величини.

**SE** → Випадкова величина  $X$  може приймати значення 0, 1, 2. Обчислимо ймовірності цих значень за формулою (8.13), маючи такі вихідні дані  $N = 12$ ,  $n = 2$ ,  $M = 3$ .

$$p_1 = P(X=0) = \frac{C_3^0 \cdot C_9^2}{C_{12}^2} = \frac{3! \cdot 9! \cdot 2! \cdot 10!}{0! \cdot 3! \cdot 2! \cdot 7! \cdot 12!} = \frac{6}{11}; \quad p_2 = P(X=1) = \frac{C_9^2 \cdot C_3^1}{C_{12}^2} = \frac{3! \cdot 9! \cdot 2! \cdot 10!}{1! \cdot 2! \cdot 1! \cdot 8! \cdot 12!} = \frac{9}{22}; \quad p_3 = P(X=2) =$$

$$= \frac{C_3^2 \cdot C_9^0}{C_{12}^2} = \frac{3! \cdot 9! \cdot 2! \cdot 10!}{2! \cdot 1! \cdot 0! \cdot 9! \cdot 12!} = \frac{1}{22}. \text{ Отже, маємо ряд розподілу за гіпергеометричним законом:}$$

X	$x_i$	0	1	2
P(X)	$p_i$	6/11	9/22	1/22

Намалюємо графік цього розподілу (рис. 8.3).

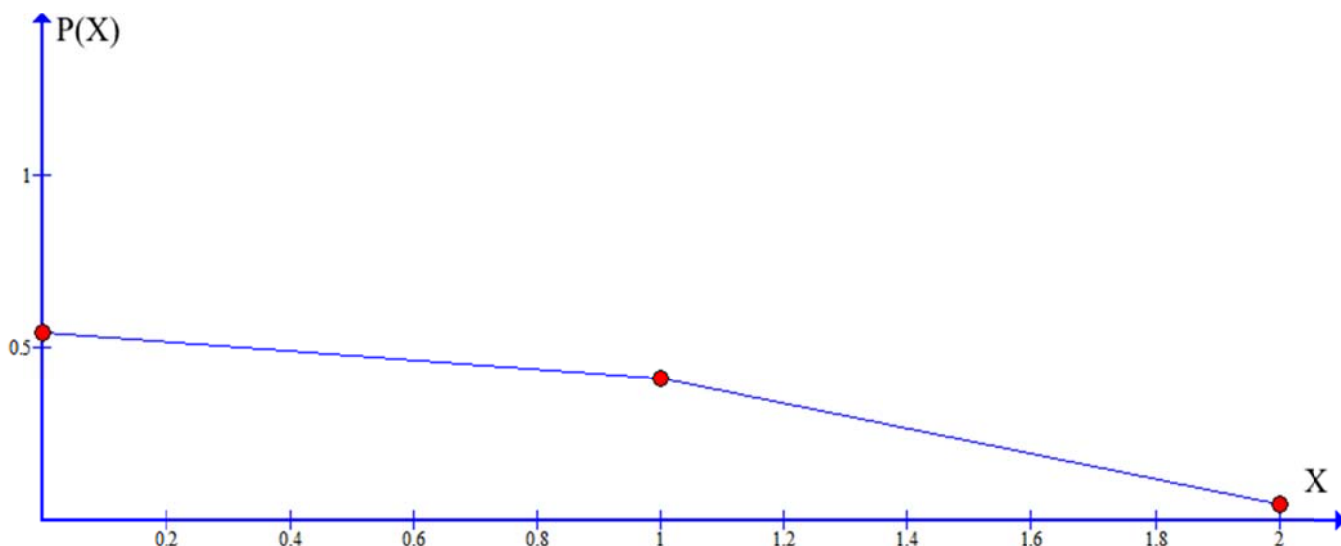


Рис. 8.3. Графік отриманого ряду розподілу за гіпергеометричним законом ◀

## 2. Біноміальний закон розподілу

Сфера застосування біноміального закону розподілу – дискретні (цілочислові) випадкові величини. Швейцарський математик Якоб Бернуллі (1654-1705) встановив, що

*ймовірність того, що в  $n$  незалежних випробувань, в кожному з яких імовірність появи події  $A$  постійна і дорівнює  $p$ , подія наступить рівно  $k$  разів (байдуже в якій послідовності), обчислюється за формулою:*

$$P_n(k) = P(X=k) = C_n^k \cdot p^k \cdot q^{n-k}, \quad k = \overline{0, n}, \quad (8.16)$$

де  $q = 1 - p$ ,  $C_n^k$  – число комбінацій (сполучень) із  $n$  по  $k$ , а саме  $C_n^k = \frac{n!}{k!(n-k)!}$ .

Це є **формула Бернуллі**, яка має відношення до незалежних повторних випробувань.

**ДВ**→ Умови та обмеження при застосуванні формули Бернуллі такі:

- випробування повинні бути незалежні;
- у кожному випробуванні можливо два результати (“успіх” і “невдача”);
- імовірність «успіху»  $p$  в кожному випробуванні постійна, тобто не залежить від номеру випробування (вказане відноситься також і до “невдачі”  $q$ ). ◀

Очевидно, що формула Бернуллі дозволяє обчислити ймовірність  $P(n, k)$  появи у вибірці з  $n$  виробів кількості дефектних виробів  $k$ , де:  $p, q$  – параметри, які визначають розподіл,  $p \in [0, 1]$ ,  $q = 1 - p$ ,  $n \in \mathbb{N}$ ;  $p$  – імовірність появи браку;  $q$  – імовірність появи якісного виробу;  $C_n^k$  – комбінація (сполучення) з вибірки, що має  $k$  дефектних виробів із всіх  $n$  виробів,  $C_n^k = n! / [k! \cdot (n - k)!]$ ;  $k = \overline{0, n}$ .

Таким чином, ми маємо клас задач, які пов’язані з багаторазово повторюваними випробуваннями (експериментами), у результаті кожного з яких може з’явитися або не з’явитися деяка подія  $A$  – поява у вибірці з  $n$  виробів деякої кількості  $k$  дефектних виробів. При цьому становить інтерес не результат кожного окремого випробування, а загальне число появ події  $A$  в результаті серії випробувань. Обмеженням є те, що вказані випробування повинні бути незалежними стосовно події  $A$ : імовірності події  $A$  в кожному випробуванні не залежать від результатів інших випробувань.

Отже, вибірковий контроль якості продукції представляє собою незалежні випробування. Вказані випробування можуть здійснюватися як в різних, так і в однакових умовах. При цьому мають різні формальні наслідки:

1. Послідовність незалежних випробувань називають **поліноміальною схемою**, якщо ймовірність події  $A$  від випробування до випробування змінюється, тобто  $p = \text{var}$ .
2. Послідовність незалежних випробувань називають **схемою Бернуллі**, якщо ймовірність події  $A$  від випробування до випробування не змінюється, тобто  $p = \text{const}$ .

**ДВ**→ Припустимо, що є деякий експеримент з двома результатами  $A$  і  $\bar{A}$ . Імовірність появи події  $A$  дорівнює  $P(A) = p$ , а протилежної події –  $P(\bar{A}) = q$ , причому  $p + q = 1$ . Будемо повторювати цей експеримент  $n$  разів так, що ймовірність появи події  $A$  в кожному  $i$ -му випробуванні ( $i = \overline{1, n}$ ) не залежить від результатів інших випробувань та дорівнює  $p$ . Таку послідовність випробувань називають експериментами Бернуллі, або **схемою Бернуллі**.

Будь-яке випробування з двома наслідками є **випробуванням Бернуллі**. Якщо здійснюється  $n$  незалежних випробувань якості продукції, у кожному з яких імовірність настання події  $A$  (поява у вибірці з  $n$  виробів деякої кількості  $k$  дефектних виробів) постійна та дорівнює  $p$ .

Розглядається випадкова величина  $X$  – число настання події  $A$  в  $n$  випробуваннях. Можливим значенням  $X$ , тобто числам  $0, 1, 2, 3, \dots, n$  відповідають значення ймовірностей  $P_n(k)$ , що знаходяться за формулою Бернуллі та разом становлять ряд розподілу дискретної випадкової величини:

$X$	0	1	2	...	$n - 1$	$n$
$p$	$P_n(0)$	$P_n(1)$	$P_n(2)$	...	$P_n(n - 1)$	$P_n(n)$

Наведений вище ряд називається біноміальним, тому що числа  $P_n(0), P_n(1), \dots, P_n(n)$  є членами бінома Ньютона  $(p + q)^n$ . Біноміальний закон розподілу може описувати вихід

технологічного процесу виробництва, коли кожен виріб з однаковою ймовірністю може бути як придатним, так і непридатним. Нижче зображені диференціальна функція розподілу ймовірностей  $f(x)$  й інтегральна функція розподілу ймовірностей  $F(x)$  біноміального закону. На рис 8.4 зображені три дискретні функції  $f(x)$  і, відповідно, три дискретні функції  $F(x)$  для різних параметрів  $p$  і  $n$ , які визначають розподіл. ◀

**ДВ→** Можна математично довести, що математичне сподівання біноміального закону розподілу (середнє число настання події  $A$  в  $n$  випробуваннях) і дисперсія визначаються відповідними формулами:

$$\mu \equiv M(X) = n p ; \quad D(X) = n p q . \quad (8.17)$$

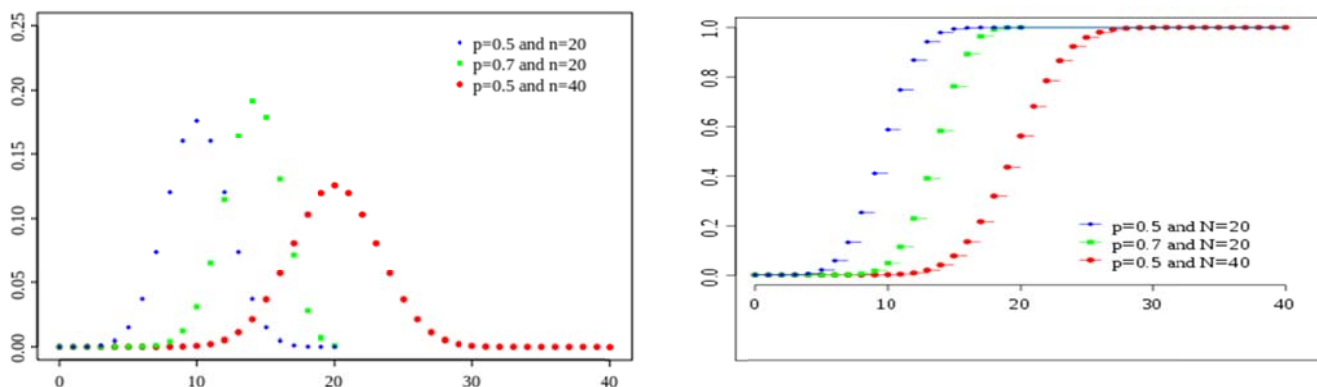


Рис. 8.4. Диференціальна  $f(x)$  й інтегральна  $F(x)$  функції розподілу ймовірностей біноміального закону при трьох значеннях кількості випробувань (загальне число випробувань  $n$  позначено справа знаком  $N$ )

Розглянемо частинні випадки формули Бернуллі (8.16).

1. Імовірність того, що подія  $A$  з'явиться у всіх  $n$  незалежних випробуваннях, дорівнює:

$$P_n(n) = C_n^n \cdot p^n q^{n-n} = p^n . \quad (8.18)$$

2. Імовірність того, що в  $n$  незалежних випробуваннях подія  $A$  ні разу не з'явиться, дорівнює:

$$P_n(0) = C_n^0 \cdot p^0 q^{n-0} = q^n . \quad (8.19)$$

3. Імовірність того, що в  $n$  незалежних випробуваннях подія  $A$  з'явиться менше  $k$  разів, дорівнює:

$$P_n(A < k) = P_n(0) + P_n(1) + P_n(2) + \dots + P_n(k-1) \quad (8.20)$$

4. Імовірність того, що в  $n$  незалежних випробуваннях подія  $A$  з'явиться більше  $k$  разів, дорівнює:

$$P_n(k+1) + P_n(k+2) + P_n(k+3) + \dots + P_n(n) . \quad (8.21)$$

5. Імовірність того, що в  $n$  незалежних випробуваннях подія  $A$  з'явиться не менше  $k$  разів ( $A \geq k$ ), дорівнює:

$$P_n(k) + P_n(k+1) + P_n(k+2) + \dots + P_n(n) . \quad (8.22)$$

6. Імовірність того, що в  $n$  незалежних випробуваннях подія  $A$  з'явиться не більше  $k$  разів ( $A \leq k$ ), дорівнює:

$$P_n(0) + P_n(1) + P_n(2) + \dots + P_n(k) . \quad (8.23)$$

7. Імовірність того, що в  $n$  незалежних випробуваннях подія  $A$  з'явиться не менше  $k_1$  разів ( $A \geq k_1$ ) і не більше  $k_2$  разів ( $A \leq k_2$ ), дорівнює:

$$P_n(k_1 \leq A \leq k_2) = P_n(k_1) + P_n(k_1 + 1) + P_n(k_1 + 2) + \dots + P_n(k_2) \quad (8.24)$$

8. Імовірність того, що в  $n$  незалежних випробуваннях подія  $A$  з'явиться хоча б один раз, дорівнює:

$$P_n(1 \leq k \leq n) = 1 - q^n \quad (8.25)$$



9. Маючи схему Бернуллі можна визначити найімовірніше число настання події  $A$ , тобто таке число  $k_0$ , вірогідність якого  $P_n(k_0)$  найбільша. Іншими словами, найбільш імовірна кількість  $k_0$  з'явлення події  $A$  в  $n$  незалежних випробуваннях, тобто  $P_n(k) \leq P_n(k_0)$ ,  $\forall k \neq k_0$ , визначається з нерівностей:

$$n \cdot p - q \leq k_0 \leq n \cdot p + p, \quad (8.26)$$

звідки отримуємо:

а) якщо число  $(n \cdot p - q)$  - дробове, то існує одне найімовірніше число;

б) якщо число  $(n \cdot p - q)$  - ціле, то існують два найімовірніші числа, а саме

$$k_0 = n \cdot p - q, \quad k_0^1 = k_0 + 1 = n \cdot p + p. \quad (8.27)$$

Примітки:

а) якщо число  $n \cdot p - q$  є дробове, то існує одне найімовірніше число  $k_0$ ;

б) якщо число  $n \cdot p - q$  є ціле, то існує два найімовірніші числа, а саме  $k_0$  і  $k_0 + 1$ ;

с) якщо число  $n \cdot p$  є ціле, то найімовірніше число  $k_0 = n \cdot p$ .

10. Якщо ймовірність появи події  $A$  в кожному випробуванні дорівнює  $p$ , то кількість  $n$  незалежних випробувань, які необхідно здійснити, щоб з імовірністю  $P$  можна було б стверджувати, що подія  $A$  відбудеться хоча б один раз, обчислюється за формулою [81]:

$$n > \frac{\ln(1 - P)}{\ln(1 - p)}. \quad (5.28)$$

**Пр. 2.** → Прилад складається з 10 блоків, надійність кожного з яких 0,8. Блоки можуть виходити із строю незалежно один від одного. Знайти ймовірність того, що:

а) відмовлять два блоки;

б) відмовить хоча б один блок;

с) відмовлять не менше двох блоків;

Знайти найбільш імовірну кількість блоків, які вийдуть зі строю.

**SE** → **Надійність** – здатність системи виконувати задані функції, зберігаючи в установлених межах свої основні характеристики.

**Функція надійності** – функція  $\Psi(t)$ , яка визначає ймовірність безвідмовної роботи технічної системи або елемента системи за проміжок часу  $t$ .

Нехай подія  $A$  – це відмова блока. Якщо надійність блока  $d$ , то ймовірність його відмови  $p = 1 - d = 1 - 0,8 = 0,2$ . Тому, що  $p + q = 1$ , то  $q = 0,8$ .

За умовою задачі  $n = 10$ . Щоб визначити ймовірність відмови двох блоків ( $k = 2$ ) застосуємо формулу Бернуллі:

$$P_n(k) = C_n^k \cdot p^k \cdot q^{n-k} \Rightarrow P_{10}(2) = C_{10}^2 \cdot p^2 \cdot q^{10-2} = 45 \cdot (0,2)^2 \cdot (0,8)^8 \approx 0,302.$$

Ймовірність відмови хоча б одного блоку визначаємо за (8.25):

$$P_{10}(1 \leq k \leq 10) = 1 - q^{10} = 1 - (0,8)^{10} \approx 0,893.$$

Ймовірність відмови не менше двох блоків визначаємо за (8.22) або за такою еквівалентною формулою:  $P_{10}(2 \leq k \leq 10) = 1 - \{P_{10}(0) + P_{10}(1)\} = 1 - C_{10}^0 \cdot (0,2)^0 \cdot (0,8)^{10} - C_{10}^1 \cdot (0,2)^1 \cdot (0,8)^9 \approx 0,624$ .

І, нарешті, за формулою (8.26) знайдемо найбільш імовірну кількість блоків, які вийдуть зі строю:  $10 \cdot 0,2 - 0,8 \leq k_0 \leq 10 \cdot 0,2 + 0,2 \Rightarrow k_0 = 2$ . ◀

**Пр. 3.** → Оператор за хвилину відправляє 3 повідомлення. Через скільки хвилин ймовірність відправлення оператором хоча б одного помилкового повідомлення буде не менше 0,952, якщо ймовірність помилки оператора дорівнює 0,02 ?

**SE** → Нехай подія  $A$  – помилка оператора, а її ймовірність за умовою рівна  $p = 0,02$ . З імовірністю  $P \geq 0,952$  можна стверджувати, що він зробить хоча б одну помилку. Тоді за формулою (8.28) маємо:

$$n > \frac{\ln(1 - 0,952)}{\ln(1 - 0,02)} \Rightarrow n > 150 \text{ (оператор може відправити більше 150 повідомлень).} \quad \blacktriangleleft$$

### 3. Закон Пуассона

Сфера застосування закону Пуассона – дискретні випадкові величини. Закон Пуассона може описувати тільки розподіл невідповідностей на виході процесу виробництва. Застосування цього розподілу для обробки результатів вибіркового контролю робиться виключно з метою спрощення математично складних формул гіпергеометричної та біноміальної моделей процедур контролю.

Закон розподілу Пуассона застосовується для послідовності так званих *рідкісних подій*, тобто подій, які мають малу ймовірність ( $p \rightarrow 0$ ) чи трапляються нечасто. При цьому, кількість випробувань досить велика ( $n \rightarrow \infty$ ). Вважається, що величина  $\lambda = n \cdot p$  – скінченна.

Можна математично довести, що за вище вказаних обставин доводиться мати справу з випадковими величинами, розподіленими за своєрідним законом, який називається *законом Пуассона* або, що те саме, “пуассонівський розподіл”. Закон Пуассона має вигляд:

$$P_n(X = k) = p_k = \frac{\lambda^k \cdot e^{-\lambda}}{k!}, \quad (8.29)$$

де  $\lambda = n \cdot p$ ,  $k \in [0, \infty)$ .

У формулі Пуассона  $\lambda \in [0, \infty)$  – параметр, який кількісно характеризує ймовірність рідкісної події. Якщо  $\lambda$  велике число, то ймовірність має досягати максимуму при якомусь  $k$ . Наприклад, ймовірність забити  $k$  голів за гру визначається параметром  $\lambda$ , що є середньою кількістю голів, які забиває футболіст. Другий приклад: ймовірність знайти браковану деталь в автоматичному виробництві патронів.

Формула Пуассона дає досить близькі до точних результати, якщо кількість випробувань в серії  $n \geq 100$ , а величина  $0 \leq n \cdot p < 10$  (при великих  $n$  і малих  $p$ ). Це критерій використання даної формули (8.29). У супротивному випадку формула Пуассона дає неточні результати, тому слід користуватися формулою Бернуллі (8.16). Для підрахунку значень  $P_n(k)$  існує таблиця значень функції Пуассона [81].

**ДВ** → Можна довести, що математичне сподівання (генеральна середня) і дисперсія розподілу Пуассона відповідно рівні:

$$\mu \equiv M(X) = D(X) = \lambda. \quad (8.30)$$

На рис. 8.5 показані диференціальні та інтегральні функції розподілу Пуассона для різних значень параметру  $\lambda$  розподілу (криві для  $\lambda = 1$ ,  $\lambda = 4$ ,  $\lambda = 10$  розташовані зліва направо). Відзначимо, що функцію розподілу ймовірностей Пуассона визначено лише для цілих  $k$ . Лінії між точками лише для зручності перегляду. На рис. 8.5. зображені диференціальна й інтегральна функції розподілу ймовірностей Пуассона, де на горизонтальній осі відкладено значення параметра  $k$ .

**Пр. 4.** → Пристрій складається з 1000 елементів, кожен з яких незалежно від решти може вийти з ладу за проміжок часу  $T$  із імовірністю  $p = 5 \cdot 10^{-4}$ . Знайти ймовірності подій: а) А – “за проміжок часу  $T$  вийдуть з ладу 3 елементи”; б) В – “за проміжок часу  $T$  вийде з ладу принаймні один елемент”; в) С – “за проміжок часу  $T$  вийдуть з ладу не більше 3 елементів”.

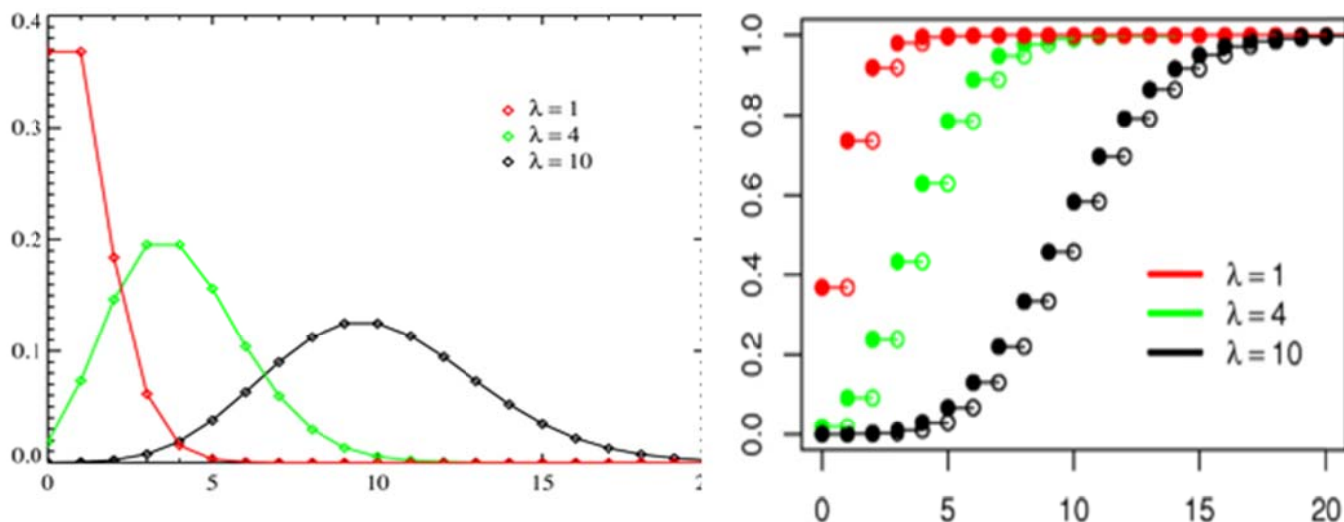


Рис. 8.5. Диференціальні  $f(x)$  та інтегральні функції  $F(x)$  розподілу ймовірностей закону Пуассона SE → Умовою застосування формулу Пуассона є:  $0 \leq n \cdot p < 10$ . У нашому випадку  $n = 1000$ ,  $k = 3$ , тоді  $\lambda = n \cdot p = 1000 \cdot 5 \cdot 10^{-4} = 0,5$ , тобто вказана умова виконується.

а) Підставляємо числові дані в формулу  $P_n(k) \approx \frac{\lambda^k}{k!} \cdot e^{-\lambda} = \frac{0,5^3}{3!} \cdot e^{-0,5}$ . Можна здійснювати

обчислення, а можна скористатися таблицею значень функції Пуассона: при  $\lambda = 0,5$  і  $k = 3$  знаходимо  $P_n(k) \approx 0,012636$ .

Таблиця значень функції Пуассона (неповна)

$k \backslash \lambda$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1	1,5	2
0	0,904837	0,818731	0,740818	0,670320	<b>0,606531</b>	0,548812	0,449329	0,367879	0,22313	0,135335
1	0,090484	0,163746	0,222245	0,268128	<b>0,303265</b>	0,329287	0,359463	0,367879	0,334695	0,270671
2	0,004524	0,016375	0,033337	0,053626	<b>0,075816</b>	0,098786	0,143785	0,18394	0,251021	0,270671
3	0,000151	0,001092	0,003334	0,007150	<b>0,012636</b>	0,019757	0,038343	0,061313	0,125511	0,180447
4	0,000004	0,000055	0,000250	0,000715	0,001580	0,002964	0,007669	0,015328	0,047067	0,090224

б) Подія В – “за проміжок часу Т вийде з ладу принаймні один елемент”. Імовірність появи події В дорівнює  $P(B) = p$ , а протилежної події –  $P(\bar{B}) = P_{1000}(0) = q$ , де  $k = 0$ . За таблицею при  $\lambda = 0,5$  і  $k = 0$  маємо  $q = P(\bar{B}) \approx 0,606531$ . Тому  $p = P(B) = 1 - P(\bar{B}) = 1 - 0,606531 = 0,393469$ .

в) для події С – “за проміжок часу Т вийдуть з ладу не більше 3 елементів” застосовується формула (8.23):  $P_n(0) + P_n(1) + P_n(2) + \dots + P_n(k)$ , де  $n = 1000$ ,  $k = 3$ . Тобто маємо (дані також беремо з таблиці):  $P(C) = P_{1000}(0) + P_{1000}(1) + P_{1000}(2) + P_{1000}(3) = 0,606531 + 0,303265 + 0,075816 + 0,012636 = 0,998248$ . ◀

Підсумовуючи, зазначимо, що формула Бернуллі хоча й дає точний результат, проте переважно не завжди може бути застосована на практиці через громіздкість обчислень при великій кількості випробувань  $n$ . Тому, при дотриманні визначеного критерію ( $n \geq 100$ ,  $0 \leq n \cdot p < 10$ ) раціонально застосовувати асимптотичну формулу Пуассона, яка дозволяє знайти достатньо точні значення ймовірностей.

#### 4. Нормальний закон розподілу неперервної випадкової величини

Нормальний закон розподілу може використовуватися для спрощеної обробки результатів контролю альтернативних ознак якості й описувати закон розподілу кількісних показників якості на виході виробничого процесу як генератора неперервних випадкових величин.

**Нормальний закон розподілу**, який ще називається **законом Гаусса**, відіграє виключно важливу роль в теорії ймовірностей і займає серед інших законів розподілу особливе місце.

**ДВ→** Нормальний закон найчастіше зустрічається на практиці. Головна особливість, яка виділяє нормальний закон серед інших законів, полягає в тому, що він є граничним законом, до якого наближаються інші закони розподілу. “Універсальність” нормального закону пояснюється тим, що *будь-яка випадкова величина*  $X$  є сумою великої кількості окремих числових значень, кожне з яких підпорядковується різним законам розподілу, і несуттєво впливають на загальну суму.

Більшість випадкових величин, таких, наприклад, як похибки вимірів, похибки визначення параметрів якості виробів і т. д. можуть бути подані як суми великої кількості малих доданків – елементарних похибок, кожна з яких визначається дією окремої причини, яка не залежить від інших. Яким би законам розподілу не підпорядковувались окремі елементарні похибки, особливості цих розподілів в сумі великої кількості доданків нівелюються і загальна сума підпорядковується закону, що близький до нормального. ◀

*Неперервна випадкова величина  $X$  розподілена за нормальним законом, або має гауссівський розподіл, якщо його щільність розподілу ймовірностей  $f(x)$  має вигляд:*

$$N(\mu, \sigma) \equiv f(x, \mu, \sigma) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right), \quad (8.31)$$

де: змінна  $x \in \mathbb{R}$  ( $\mathbb{R}$  – множина дійсних чисел); параметр  $\mu \in \mathbb{R}$  – математичне сподівання випадкової величини  $X$ , тобто  $\mu = M(X)$ ;  $\sigma$  – середнє квадратичне відхилення випадкової величини  $X$  ( $\sigma > 0$ );  $D(X) = \sigma^2$  – дисперсія;  $N(\mu, \sigma)$  – умовне позначення нормального розподілу.

**ДВ→** Зазначимо, що для розподілених за нормальним законом величин, які відносяться до класу неперервних випадкових величин, **математичне сподівання** (середнє значення) – це число  $\mu$ , яке визначається рівністю:

$$\mu = M(X) = \int_{-\infty}^{\infty} x \cdot f(x) dx. \quad (8.32)$$

Крива нормального закону розподілу є унімодальною (одновершинною) і називається **нормальною**, або **гауссовою кривою** (рис. 8. 6).

Якщо  $f(x)$  – щільність розподілу ймовірностей нормальної випадкової величини  $X$ , то функція розподілу (інтегральна функція розподілу, інтегральний закон розподілу) вказаної величини подається невласним інтегралом:

$$F(x) = P\{X < x\} = \int_{-\infty}^x f(t) dt = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}} dt. \quad (8.33)$$

З точки зору теорії якості, нормальний закон розподілу застосовується для випадку кількісних ознак, коли кожне випробування в серії має лише два можливих результати: виріб визнається або якісним, або бракується. Нормальний розподіл для *неперервної випадкової величини*  $X$  вибіркового контролю є нормативним і характеризується щільністю (густиною) розподілу ймовірностей  $f(x)$ . ◀

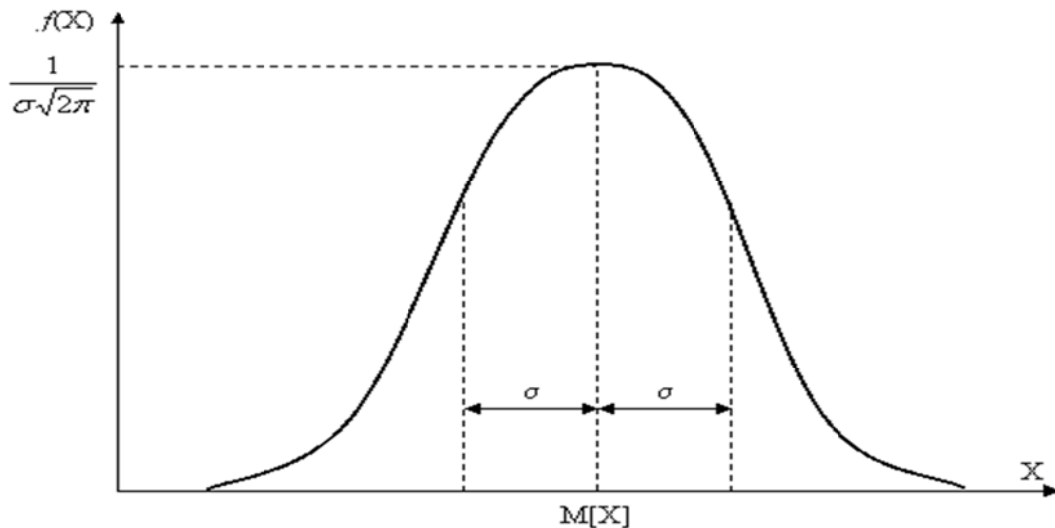


Рис. 8. 6. Крива нормального закону розподілу

Розподіл із  $\mu = 0$  та  $\sigma = 1$  називають **стандартним нормальним розподілом**. Функція щільності нормального розподілу  $N(0, 1)$  є **функція Гаусса** (рис. 8.7):

$$\varphi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2}}. \quad (8.34)$$

**ДВ**→ У теорії ймовірностей обґрунтовується, що інтегральну функцію розподілу ймовірностей  $F(x)$  нормального закону можна перетворити у такий вигляд:

$$F(x) = \frac{1}{2} \left[ 1 + \operatorname{erf} \left( \frac{x - \mu}{\sqrt{2\sigma^2}} \right) \right], \quad (8.35)$$

де: нормована випадкова величина  $U = \frac{x - \mu}{\sigma}$  є **стандартизованою нормальною величиною**, яка розподілена за нормальним законом з параметрами  $M(U) = \mu = 0$ ,  $\sigma(U) = 1$ ;  $\operatorname{erf} \left( \frac{u}{\sqrt{2}} \right)$  – **функція помилок**.

Тоді в новій змінній будемо мати:

$$F_0(u) = \frac{1}{2} \left[ 1 + \operatorname{erf} \left( \frac{u}{\sqrt{2}} \right) \right] = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^u e^{-\frac{t^2}{2}} dt, \quad (8.36)$$

де  $F_0(u)$  – інтегральна функція нормального розподілу.

Здійснивши заміну змінних, можна отримати зв'язок між функціями  $F_0(u)$  і  $F(x)$ :

$$F(x) = F_0 \left( \frac{x - \mu}{\sigma} \right). \quad (8.37)$$

Інтегральна функція нормального розподілу  $F_0(u)$  має щільність розподілу ймовірностей:

$$\varphi(u) = \frac{dF_0}{du} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{u^2}{2}}, \quad (8.38)$$

де  $\varphi(u)$  – табульована функція (значення функції подані в таблиці).

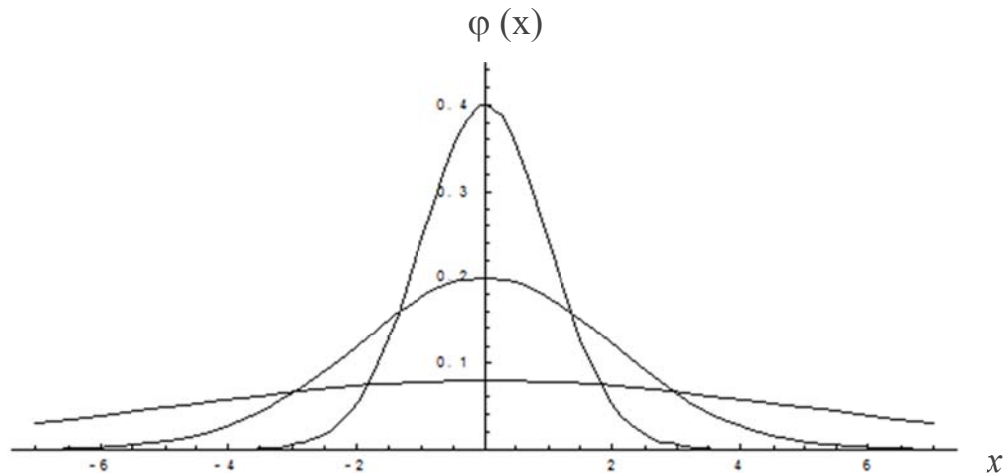


Рис. 8. 7. Графіки функції Гаусса  $\varphi(x)$  при трьох можливих значеннях середнього квадратичного відхилення  $\sigma$ , а саме при  $\sigma_1 = 1$  (гостроверха крива),  $\sigma_2 = 2$  і  $\sigma_3 = 7$  (полога крива) ◀

Знайдемо ймовірність  $P$  потрапляння неперервної випадкової величини  $X$ , яка розподілена за нормальним законом, в інтервал  $[a, b]$ .

**Дов.→**

$$P(a < X < b) = \int_a^b f(x) dx = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_a^b e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} dx = \left| \begin{array}{l} t = \frac{x-\mu}{\sigma}; dx = \sigma dt \\ \alpha = \frac{a-\mu}{\sigma}; \beta = \frac{b-\mu}{\sigma} \end{array} \right| = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{\alpha}^{\beta} e^{-\frac{t^2}{2}} dt =$$

$$= \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \left( \int_0^{\beta} e^{-\frac{t^2}{2}} dt - \int_0^{\alpha} e^{-\frac{t^2}{2}} dt \right) = \Phi(\beta) - \Phi(\alpha) = \Phi\left(\frac{b-\mu}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{a-\mu}{\sigma}\right). \blacktriangleleft$$

Таким чином, маємо:

$$P(a < X < b) = \Phi\left(\frac{b-\mu}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{a-\mu}{\sigma}\right), \quad (8.39)$$

де:

$$\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x e^{-\frac{t^2}{2}} dt \quad (8.40)$$

є **інтегральна функція Лапласа**, або **нормована функція Лапласа**, або **інтеграл імовірності**. Значення цієї функції табульовані.

Зауваження. Так, як значення ймовірності в конкретній точці  $x = x_0$  дорівнює нулю, то запис  $P(a < X < b)$  еквівалентний запису  $P(a \leq X \leq b)$ .

Можна показати, що

$$F_0(u) = 0,5 + \Phi(u). \quad (8.41)$$

**ДВ→** Функція Лапласа відноситься до класу **спеціальних функцій**, тобто функцій, які не виражаються через елементарні функції, а подаються у вигляді інтегралів, які не беруться, або рядів. Окрім функції Лапласа, до спеціальних функцій відносяться: інтегральний логарифм, інтегральний синус, інтегральний косинус, бета-функція, гамма-функція, еліптичні функції.

Властивості функції Лапласа  $\Phi(x)$  такі (див. рис. 8.8):

- а) функція  $\Phi(x)$  є непарною, тобто  $\Phi(-x) = -\Phi(x)$ ;

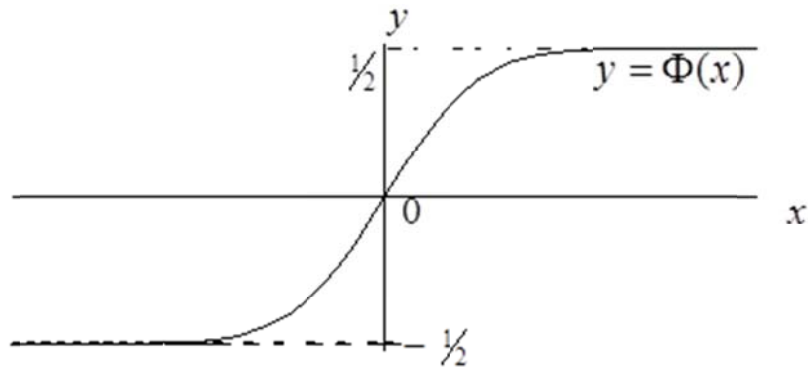


Рис. 8.8. Графік нормованої функції Лапласа

б) функція  $\Phi(x)$  монотонно зростаюча на множині дійсних чисел  $\mathbb{R}$ , тобто

$$\lim_{x \rightarrow +\infty} \Phi(x) = 0,5, \quad \lim_{x \rightarrow -\infty} \Phi(x) = -0,5; \quad (8.42)$$

с) функція  $\Phi(x)$  табульована для  $x \in [0; 5]$ ;

д) для  $x > 5$  вважають, що  $\Phi(x) = 0,5$ ;

е) для від'ємних значень  $x$  використовують ту же таблицю, враховуючи, що функція Лапласа непарна.

**Пр. 5.→** Завод виготовляє кульки для підшипників, номінальний діаметр яких дорівнює 10 мм. Проте фактичний діаметр кульок випадковий і розподілений за нормальним законом  $N(\mu, \sigma)$ , де  $\mu = 10$  мм і  $\sigma = 0,4$  мм. При контролі бракуються всі кульки, які не проходять через круглий отвір діаметром  $d_1 = 10,7$  мм, і всі кульки, які проходять через круглий отвір діаметром  $d_2 = 9,3$  мм. Знайти процент браку.

**SE →** Нехай  $X$  – фактичний діаметр, який є неперервною випадковою величиною. За умовою задачі,  $X$  має розподіл щільності ймовірності за нормальним законом. За формулою (8.39) знайдемо ймовірність того, що кулька не попаде в брак, тобто діаметр круглого отвору виявиться в допустимих межах:  $P(a < X < b) = \Phi\left(\frac{b-\mu}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{a-\mu}{\sigma}\right) \Rightarrow P(9,3 < X < 10,7) = \Phi\left(\frac{10,7-10}{0,4}\right) - \Phi\left(\frac{9,3-10}{0,4}\right) = \Phi\left(\frac{0,7}{0,4}\right) - \Phi\left(\frac{-0,7}{0,4}\right) = 2 \Phi\left(\frac{0,7}{0,4}\right) = 2 \Phi(1,75)$ . Скористаємося таблицею нормованої функції Лапласа:

x	Φ(x)	x	Φ(x)	x	Φ(x)	x	Φ(x)	x	Φ(x)
0,16	0,0636	0,66	0,2454	1,16	0,377	1,66	0,4515	2,32	0,4898
0,25	0,0987	0,75	0,2734	1,25	0,3944	1,75	0,4599	2,5	0,4938

Бачимо, що  $\Phi(1,75) = 0,4599$ . Тоді шукане значення таке:  $P(9,3 < X < 10,7) = 2 \cdot 0,4599 = 0,9198$  (ми знайшли ймовірність того, що в результаті випробування випадкова величина  $X$  прийме сукупність значень, які укладені в інтервалі  $[9,3; 10,7]$ ). Звідси, ймовірність того, що кулька виявиться бракованою, дорівнює значенню протилежної події, тобто  $p = 1 - 0,9198 = 0,0802$ . Отже, 8,02 % кульок будуть забраковані. ◀

**Пр. 6.→** Термін функціонування деякого приладу є неперервною випадковою величиною  $X$ , яка має нормальний закон розподілу, з гарантією на 15 років і середнім квадратичним відхиленням, рівним 3 рокам. Визначити надійність приладу за проміжок часу від 10 до 20 років.

**SE →** Початкові дані за умовою задачі такі:  $\mu = M(X) = 15$ ,  $\sigma(X) = 3$ ,  $a = 10$ ,  $b = 20$ . Використовуємо формулу (8.39):  $P(a < X < b) = \Phi\left(\frac{b-\mu}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{a-\mu}{\sigma}\right)$ .  $\Leftrightarrow P(10 < X < 20) = \Phi\left(\frac{20-15}{3}\right) - \Phi\left(\frac{10-15}{3}\right) = \Phi\left(\frac{5}{3}\right) - \Phi\left(\frac{-5}{3}\right)$ . Враховуючи, що  $\Phi(-x) = 1 - \Phi(x)$ , маємо  $P(10 < X < 20) = 2 \cdot \Phi\left(\frac{5}{3}\right)$ . Скористаємося таблицею нормованої функції Лапласа для  $\Phi\left(\frac{5}{3}\right) = \Phi(1,6667) \approx 0,4525$ .

x	$\Phi(x)$	x	$\Phi(x)$	x	$\Phi(x)$	x	$\Phi(x)$	x	$\Phi(x)$
0,16	0,0636	0,66	0,2454	1,16	0,377	1,66	0,4515	2,32	0,4898
0,17	0,0675	0,67	0,2486	1,17	0,379	1,67	0,4525	2,34	0,4904

Тоді маємо остаточно:  $P(10 < X < 20) = 2 \cdot 0,4525 \approx 0,905$ . ◀

Як бачимо, під знаком інтегралу ймовірності

$$\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x e^{-\frac{t^2}{2}} dt \equiv \int_0^x \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{t^2}{2}} dt = \int_0^x \varphi(t) dt \text{ знаходиться } \textbf{функція Гаусса } \varphi(x),$$

тому доцільно сформулювати її властивості (див. рис. 8.7):

1. Функція  $\varphi(x)$  визначена на всій числовій осі  $x \in (-\infty, +\infty)$ .
2. Графік функції  $\varphi(x)$  розміщений над віссю  $Ox$ , тобто функція  $\varphi(x)$  набуває тільки невід'ємних значень, а саме  $\varphi(x) > 0$ .
3. Вісь  $Ox$  є горизонтальною асимптотою графіка функції  $\varphi(x)$ .
4. Графік функції  $\varphi(x)$  симетричний відносно осі ординат  $Oy$ .
5. Функція  $\varphi(x)$  є парна, тобто  $\varphi(-x) = \varphi(x)$ .
6. Функція  $\varphi(x)$  має максимум, який дорівнює  $\varphi(0) = 1 / (\sqrt{2\pi})$ .
7. Функція  $\varphi(x)$  є монотонно спадна для  $x > 0$ , причому при  $x \rightarrow \infty$ ,  $\varphi(x) \rightarrow 0$ . Практично можна вважати, що вже при  $x > 4$ ,  $\varphi(x) \approx 0$ .
8. В точках  $x = -\sigma$  і  $x = +\sigma$  крива зазнає перегину, причому  $\varphi(\pm\sigma) = 1/(\sigma\sqrt{2\pi}e)$ .
9. Функція  $\varphi(x)$  відноситься до класу табульованих функцій, тобто таких, які можна подати у вигляді таблиці значень.
10. Функція  $\varphi(x)$  задовольняє умову нормування, яка геометрично значить, що площа, обмежена віссю  $Ox$  і кривою розподілу, дорівнює одиниці:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \varphi(x) dx = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} dx = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-\frac{t^2}{2}} dt = 1,$$



де інтеграл

$$I = \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-\frac{t^2}{2}} dt = \sqrt{2\pi} \quad (8.43)$$

називається **інтегралом Пуассона**.

Розглянемо асимптотичні формули для обчислення ймовірностей  $P_n(k)$ , які визначаються локальною та інтегральною теоремами Муавра-Лапласа.

**Локальна теорема Муавра-Лапласа:** якщо при  $n$  незалежних випробувань подія  $A$  відбувається з постійною ймовірністю  $p$ , що не занадто близька до нуля й одиниці ( $0 < p < 1$ ), то при досить великому  $n$  ймовірність  $P_n(k)$  того, що подія  $A$  настане рівно  $k$  разів, наближено обчислюється за асимптотичною формулою вигляду:

$$P_n(k) \approx \frac{1}{\sqrt{npq}} \cdot \varphi(x), \quad (8.44)$$

де  $\varphi(x)$  – функція Гаусса (диференціальна функція нормального стандартизованого розподілу);  $x = (k - np) / \sqrt{npq}$  – аргумент функції Гаусса,  $q = 1 - p$ .

Зазначимо, що обчислення за формулою (8.44) дає незначну похибку при виконанні умови  $npq > 10$ . На практиці можна мати справу, пов'язану з великою кількістю випробувань  $n$  і не занадто малою ймовірністю  $p$ , за яких умова  $npq > 10$  не виконується. У даному випадку здійснюють оцінювання ймовірності того, що число появи події  $A$  лежить в деяких границях.

**Інтегральна теорема Муавра-Лапласа:** якщо при  $n$  незалежних випробувань подія  $A$  відбувається з постійною ймовірністю  $p$ , що не занадто близька до нуля й одиниці ( $0 < p < 1$ ), то при досить великому  $n$  ймовірність  $P_n(k_1 \leq k \leq k_2)$  того, що подія  $A$  з'явиться у випробуваннях від  $k_1$  до  $k_2$  разів, наближено обчислюється за асимптотичною формулою вигляду:

$$P_n(k_1 \leq k \leq k_2) \approx \Phi(x_2) - \Phi(x_1), \quad (8.45)$$

де  $\Phi(x)$  – нормована функція Лапласа;  $x_1 = (k_1 - np) / \sqrt{npq}$ ;  $x_2 = (k_2 + np) / \sqrt{npq}$ .

**Пр. 7.→** Нехай подія  $A$  – виявлення бракованих деталей контролером перед збиранням технічного вузла. Знайти: а) ймовірність того, що подія  $A$  настане не більше 70 разів у 10000 випробуваннях, якщо ймовірність появи події  $A$  в кожному випробуванні дорівнює 0,005; б) ймовірність того, що подія  $A$  настане рівно 40 разів у 10000 випробувань, якщо ймовірність появи події  $A$  в кожному випробуванні дорівнює 0,005. Порівняти отримані результати та знайти відносну похибку обчислень.

**SE →** За умовою маємо:  $n = 10000$ ,  $k_1 = 0$ ,  $k_2 = 70$ ,  $p = 0,005$ ,  $q = 1 - p = 0,995$ . Оскільки  $npq = 10000 \cdot 0,005 \cdot 0,995 = 49,75 > 10$ . Це означає, що немає обмежень застосовувати формулу (8.45):  $P_n(k_1 \leq k \leq k_2) \approx \Phi(x_2) - \Phi(x_1) \Rightarrow P_{10000}(0 \leq k \leq 70) \approx \Phi(x_2) - \Phi(x_1)$ . Обчислимо границі інтегрування:

$$x_1 = \frac{k_1 - np}{\sqrt{npq}} = \frac{0 - 50}{\sqrt{49,75}} = \frac{-50}{7,0534} \approx -7,0888 ; x_2 = \frac{k_2 - np}{\sqrt{npq}} = \frac{70 - 50}{7,0534} \approx 2,8355. \text{ Далі визначимо}$$

значення нормованої функції Лапласа  $\Phi(x)$  в точці  $x_2$ , скориставшись таблицею.

*Фрагмент таблиці значень нормованої функції Лапласа  $\Phi(x)$*

x	$\Phi(x)$	x	$\Phi(x)$	x	$\Phi(x)$	x	$\Phi(x)$	x	$\Phi(x)$	x	$\Phi(x)$
0,42	0,1628	0,92	0,3212	1,42	0,4222	1,92	0,4726	2,84	0,4977		

$\Phi(x_2) = \Phi(2,8355) \approx 0,4977$ . Для  $x_1 = |-7,0888| > 5 \Rightarrow \Phi(x_1) = -0,5$ . Тоді враховуючи умову, що подія  $A$  з'явиться у випробуваннях в обмеженому інтервалі значень, застосовуємо інтегральну теорему Муавра-Лапласа:  $P_{10000}(0 \leq k \leq 70) \approx \Phi(x_2) - \Phi(x_1) = 0,4977 - (-0,5) = 0,4977 + 0,5 = 0,9977$ . Отримана велика ймовірність, а це говорить про те, що дану подію можна вважати практично достовірною.

Для  $n = 10000$ ,  $k = 40$ ,  $p = 0,005$ ,  $q = 0,995$ , маємо  $npq = 49,75 > 10$ . Уданому випадку подія  $A$  настає рівно  $k$  разів, тому скористаємося локальною теоремою Муавра-Лапласа.

Маємо:  $P_{10000}(40) \approx \frac{1}{\sqrt{10000 \cdot 0,005 \cdot 0,995}} \cdot \varphi(x) = \frac{1}{7,0534} \cdot \varphi(x)$ . Обчислимо

значення  $x$ :  $x = \frac{k - np}{\sqrt{npq}} = \frac{40 - 10000 \cdot 0,005}{7,0534} \approx -1,4178 \approx -1,42$ . За таблицею значень

диференціальної функції  $\varphi(x)$  нормального стандартизованого розподілу знаходимо  $\varphi(-1,42) = \varphi(1,42) = 0,145564 \approx 0,1456$ .

*Фрагмент таблиці значень диференціальної функції  $\varphi(x)$  нормального стандартизованого розподілу*

x	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1,4	0,149727	0,147639	0,145564	0,143505	0,14146	0,139431	0,137417	0,135418	0,133435	0,131468

Шукана ймовірність  $P_{10000}(40) \approx \frac{1}{7,0534} \cdot \varphi(x) = \frac{1}{7,0534} \cdot 0,1456 \approx 0,0206$ . Тепер зробимо

точний розрахунок за формулою Бернуллі (8.16):  $P_{10000}(40) \approx \frac{n!}{k!(n-k)!} p^k q^{n-k} =$

$= \frac{10000!}{40!(10000-40)!} (0,005)^{40} \cdot (0,995)^{10000-40} \approx 0,0214$ . Таким чином, наближена формула (8.44)

призводить до абсолютної похибки:  $\Delta = |0,0206 - 0,0214| = 0,0008$ , що становить  $\delta = (\Delta / 0,0214) \cdot 100\% \approx 3,7\%$  відносної похибки. ◀

Нехай маємо неперервну нормально розподілену випадкову величину  $X$ , яка має параметри  $\mu$  і  $\sigma$ . Потрібно обчислити ймовірність того, що вказана величина відхиляється від свого математичного сподівання на величину, меншу  $\varepsilon$ , тобто треба знайти ймовірність виконання нерівності  $|X - \mu| < \varepsilon$ .

**Дов. →** Маємо такі алгебраїчні перетворення:

$$|X - \mu| < \varepsilon \Leftrightarrow \begin{cases} X - \mu < \varepsilon \\ -(X - \mu) < \varepsilon \end{cases} \Rightarrow \mu - \varepsilon < X < \mu + \varepsilon.$$

Далі використовуємо формулу (8.39):

$$P(a < X < b) = \Phi\left(\frac{b - \mu}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{a - \mu}{\sigma}\right).$$

Підставляємо значення:

$$b = \mu + \varepsilon \text{ і } a = \mu - \varepsilon.$$

Отримаємо:

$$P(|X - \mu| < \varepsilon) \equiv P(\mu - \varepsilon < X < \mu + \varepsilon) = \Phi\left(\frac{\mu + \varepsilon - \mu}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{\mu - \varepsilon - \mu}{\sigma}\right) \Rightarrow$$

$$P(|X - \mu| < \varepsilon) = \Phi\left(\frac{\varepsilon}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{-\varepsilon}{\sigma}\right) \Rightarrow$$

Значить, імовірність виконання нерівності  $|X - \mu| < \varepsilon$  така:

$$P(|X - \mu| < \varepsilon) = 2 \Phi\left(\frac{\varepsilon}{\sigma}\right). \quad \blacktriangleleft \quad (8.46)$$

**Пр. 8.** → Вважається, що лазерні диски є стандартні, якщо відхилення  $X$  діаметра диска від проектного розміру за абсолютною величиною менше за 0,7 мм. У супротивному випадку диски вважаються нестандартними (бракованими). Маючи на увазі, що випадкова величина  $X$  розподілена за нормальним законом із середнім квадратичним відхиленням  $\sigma = 0,4$  мм, знайти, скільки у середньому буде стандартних дисків серед ста виготовлених, а скільки буде бракованих.

**SE** → Відхилення розмірів дисків від стандартного може бути як в бік збільшення, так і в бік зменшення діаметру. Тому математичне сподівання  $\mu = 0$ . Отже, маємо функцію Гаусса  $\phi(x)$ . Відповідно до (8.46) маємо:

$$P(|X| < \varepsilon) = 2 \Phi\left(\frac{\varepsilon}{\sigma}\right), \quad (8.47)$$

де  $\varepsilon = 0,7 \Rightarrow P(|X| < 0,7) = 2 \Phi\left(\frac{0,7}{0,4}\right) = 2 \Phi(1,75)$ .

Скориставшись таблицею значень нормованої функції Лапласа  $\Phi(x)$ ,

Фрагмент таблиці значень нормованої функції Лапласа  $\Phi(x)$

x	$\Phi(x)$	x	$\Phi(x)$	x	$\Phi(x)$	x	$\Phi(x)$	x	$\Phi(x)$
0,25	0,0987	0,75	0,2734	1,25	0,3944	1,75	0,4599	2,5	0,4938

маємо:

$$P(|X| < \varepsilon) = 2 \Phi(1,75) = 2 \cdot 0,4599 = 0,9198.$$

Таким чином, імовірність відхилення, меншого за 0,7 мм, дорівнює 0,9198. Звідси випливає, що приблизно 92 диски зі 100 є стандартними, а 8 – бракованими. ◀

**Пр. 9.** → Вважається, що відхилення довжини виробу від стандарту є випадковою величиною, яка розподілена за нормальним законом. Нехай стандартна довжина дорівнює  $\mu = 40$  см, а середнє квадратичне відхилення  $\sigma = 0,4$  см. Яку точність виробу можна гарантувати з імовірністю 0,8 ?

**SE** → Відповідно до (8.46) маємо:

$$P(|X - \mu| < \varepsilon) = 2 \Phi\left(\frac{\varepsilon}{\sigma}\right) \Leftrightarrow P(|X - 40| < \varepsilon) = 2 \Phi\left(\frac{\varepsilon}{0,4}\right) = 0,8 \Rightarrow \Phi\left(\frac{\varepsilon}{0,4}\right) = 0,4.$$

Із таблиці значень нормованої функції Лапласа  $\Phi(x)$ ,

x	$\Phi(x)$	x	$\Phi(x)$	x	$\Phi(x)$	x	$\Phi(x)$	x	$\Phi(x)$
0,28	0,1103	0,78	0,2823	1,28	0,3997	1,78	0,4625	2,56	0,4948
0,29	0,1141	0,79	0,2852	1,29	0,4015	1,79	0,4633	2,58	0,4951

маємо  $\Phi = 0,4$  приблизно при значенні аргументу  $x = 1,29$ .

Звідси маємо  $\frac{\varepsilon}{0,4} = 1,29 \Rightarrow \varepsilon = 1,29 \cdot 0,4 = 0,516 \approx 0,52$ . Можна гарантувати точність, рівну  $\varepsilon = 0,52$ . ◀

---

### 8.3. Застосування закону великих чисел для контролю й аналізу якості

---

Сутність граничних теорем теорії ймовірностей. Нерівності Чебишева (перша та друга форми). Нерівність Маркова. Поняття збіжності послідовності випадкових величин за ймовірністю. Суть закону великих чисел. Генеральна сукупність. Емпірична функція розподілу. Статистики. Статистичні оцінки. Вибіркове середнє. Перший варіант закону великих чисел. Статистична стійкість. Закон великих чисел та відносна частота браку продукції. Теореми Пуассона і Бернуллі. Формула Бернуллі. Вираз теореми Бернуллі через нормовану функцію Лапласа. Стійкість середнього значення. Теорема Чебишева або закон великих чисел.

---

Відповідність між теоретичними та дослідними (експериментальними) характеристиками випадкових величин або випадкових подій при великій кількості випробувань встановлюють граничні теореми теорії ймовірностей.

При доведенні граничних теорем, а також при розв'язанні різноманітних задач важливу роль відіграють нерівності Чебишева. Граничні теореми (Чебишева, Бернуллі, Ляпунова, Ліндеберга та ін.) об'єднують загальною назвою – **закон великих чисел**. Вказаний закон має широке застосування, зокрема в статистичному контролі якості продукції.

Відомий російський математик і механік П.Л. Чебишев (1821-1894) запропонував науковій спільноті дві форми нерівності.

**Перша форма нерівності Чебишева:** Для довільної випадкової величини  $X$ , яка приймає невід'ємні значення та має скінченне математичне сподівання, виконується нерівність:

$$P(X \geq 1) \leq M(X). \quad (8.48)$$

**Наслідок.** Якщо  $X$  приймає лише невід'ємні значення, а  $M(X) < \infty$ ,  $\varepsilon > 0$ , то маємо **нерівність Маркова**:

$$P(X \geq \varepsilon) \leq \frac{M(X)}{\varepsilon} \quad (8.49)$$

**Дов.** (8.48)  $\Rightarrow$  Якщо  $X$  – дискретна випадкова величина, то  $P(X \geq 1) = \sum_{i, x_i \geq 1} p(x_i) \leq \sum_{i=1}^n x_i \cdot p(x_i) = M(X)$ . Якщо  $X$  – неперервна випадкова величина, а  $f(x)$  – щільність її розподілу, то:

$$P(X \geq 1) = \int_1^{\infty} f(x) dx \leq \int_0^{\infty} x \cdot f(x) dx \leq \int_{-\infty}^{\infty} x \cdot f(x) dx = M(X). \quad \blacktriangleleft$$

**Друга форма нерівності Чебишева:** Якщо випадкова величина  $X$  має скінченні математичне сподівання  $M(X) \equiv \mu$  та дисперсію  $D(X)$ , то для довільного  $\varepsilon > 0$  має

місце нерівність:

$$P(|X - M(X)| \leq \varepsilon) \geq 1 - \frac{D(X)}{\varepsilon^2}. \quad (8.50)$$

Зокрема, для послідовності незалежних випробувань за схемою Бернуллі наведена вище нерівність має вигляд:

$$P\left(\left|\frac{k}{n} - p\right| \leq \varepsilon\right) \geq 1 - \frac{pq}{n\varepsilon^2}, \quad (8.51)$$

де  $k$  – число появи події  $A$  в  $n$  випробуваннях (частота події),  $n$  – число незалежних повторних випробувань,  $p$  – імовірність появи події  $A$  в кожному з  $n$  незалежних повторних випробувань (імовірність появи події в одному випробуванні),  $q = 1 - p$ .

Для дискретної випадкової величини  $X$ , такі параметри розподілу, як математичне сподівання  $\mu$  та дисперсія  $D(X)$ , знаходяться за відповідними формулами.

1. Математичне сподівання  $M(X)$ :

$$M(X) = x_1 p_1 + x_2 p_2 + \dots + x_n p_n = \sum_{i=1}^n x_i p_i, \quad (8.52)$$

де:  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$  – числові значення дискретної випадкової величини  $X$ ; у свою чергу, імовірності вказаних значень такі  $p(x_1), p(x_2), p(x_3), \dots, p(x_n)$  – імовірності значень величини  $X$ .

Як відомо, математичне сподівання біноміального розподілу  $M(X) = n \cdot p$ , а розподілу Пуассона –  $M(X) = \lambda$ . Дисперсія  $D(X)$  дискретної випадкової величини  $X$  визначається за формулою:

$$D(X) = M[X - M(X)]^2 = \sum_{i=1}^n [x_i - M(X)]^2 \cdot p_i \equiv \sum_{i=1}^n x_i^2 \cdot p_i - [M(X)]^2. \quad (8.53)$$

Можна довести (залишаємо це за студентами), що дисперсія цих розподілів визначається за формулами:

- біноміальний розподіл:  $D(X) = n \cdot p \cdot q$ ;
- розподіл Пуассона:  $D(X) = \lambda$ .

**Пр. 10.** → Оцінити ймовірність того, що розсіювання певного параметру виробу навколо математичного сподівання менше 0,2. Параметр виробу вважати дискретною випадковою величиною  $X$ , яка задана законом розподілу

X	0,3	0,6
p	0,2	0,8

**SE** → За умовою задачі  $|X - M(X)| < 0,2$ . Знайдемо математичне сподівання та дисперсію величини  $X$  за формулами 8.52, 8.53:

$$M(X) = 0,3 \cdot 0,2 + 0,6 \cdot 0,8 = 0,54.$$

$$D(X) = \sum_{i=1}^2 x_i^2 \cdot p_i - [M(X)]^2 = (0,3^2 \cdot 0,2 + 0,6^2 \cdot 0,8) - (0,54)^2 = 0,0144.$$

Тоді за нерівністю Чебишева (8.50) маємо:

$$P(|X - M(X)| \leq \varepsilon) \geq 1 - \frac{D(X)}{\varepsilon^2} \Leftrightarrow P(|X - 0,54| \leq 0,2) \geq 1 - \frac{0,0144}{0,2^2} \Leftrightarrow P(|X - 0,54| \leq 0,2) \geq 0,64. \Rightarrow$$

Шукана ймовірність  $p = 0,64$ . ◀

**Пр. 11.** → Ймовірність виходу з автомату стандартної деталі дорівнює 0,96. Оцінити за допомогою нерівності Чебишева ймовірність того, що число бракованих серед 2000 деталей знаходиться в границях від 60 до 100 включно. Уточнити ймовірність тої ж події за допомогою інтегральної теореми Муавра-Лапласа. Пояснити різницю отриманих результатів.

**SE** → Якщо ймовірність виходу з автомату стандартної деталі дорівнює  $q = 0,96$ , то ймовірність того, що деталь бракована  $p = 1 - 0,96 = 0,04$ . Загальне число деталей  $n = 2000$ . Число бракованих деталей має біноміальний закон розподілу. Браковані деталі утворюють сукупність з математичним сподіванням  $M(X) = n \cdot p = 2000 \cdot 0,04 = 80$ . Границі розподілу бракованих деталей від 60 до 100 симетрично відносно математичного сподівання  $M(X) = 80$ . Знаходимо значення дисперсії:  $D(X) = n \cdot p \cdot q = 80 \cdot 0,96 = 76,8$ . За другою формою нерівності Чебишева маємо:

$$P(|X - 80| \leq \varepsilon) \geq 1 - \frac{76,8}{\varepsilon^2}.$$

Розкриємо модуль виразу:

$$|X - 80| \leq \varepsilon \Rightarrow \begin{cases} X \leq 80 + \varepsilon \\ X \geq 80 - \varepsilon \end{cases}.$$

Проте, за умовою задачі, браковані деталі знаходяться в межах від 60 до 100. Тому,  $80 + \varepsilon = 100 \Rightarrow \varepsilon = 20$ . Підставляємо дані:

$$P(|X - 80| \leq \varepsilon) \geq 1 - \frac{76,8}{20^2} = 0,808.$$

Значить, ймовірність того, що число бракованих серед 2000 деталей знаходиться в границях від 60 до 100 включно дорівнює  $p \geq 0,808$ .

Знайдемо значення ймовірності за допомогою інтегральної теореми Муавра-Лапласа:

$$P_n(k_1 \leq k \leq k_2) \approx \Phi(x_2) - \Phi(x_1),$$

де  $\Phi(x)$  – нормована функція Лапласа;

$x_1 = (k_1 - np) / \sqrt{npq}$ ;  $x_2 = (k_2 - np) / \sqrt{npq}$ . У нас  $k_1 = 60$ ,  $k_2 = 100$ ,  $n = 2000$ ,  $p = 0,04$ ,  $q = 0,96$ . Обчислюємо значення:  $x_1 = (60 - 80) / \sqrt{2000 \cdot 0,04 \cdot 0,96} = -20 / 8,76 = -2,2831$ ;  $x_2 = (100 - 80) / \sqrt{2000 \cdot 0,04 \cdot 0,96} = 20 / 8,76 = 2,2831$ . Отже,  $P_n(60 \leq k \leq 100) \approx \Phi(2,2831) - \Phi(-2,2831) = 2 \cdot \Phi(2,2831)$ . З таблиці значень нормованої функції Лапласа  $\Phi(x)$

x	Φ(x)	x	Φ(x)	x	Φ(x)	x	Φ(x)	x	Φ(x)
0,13	0,0517	0,63	0,2357	1,13	0,3708	1,63	0,4484	2,26	0,4881
0,14	0,0557	0,64	0,2389	1,14	0,3729	1,64	0,4495	2,28	0,4887

маємо:  $\Phi(2,2831) = 0,4887$ . Отже,  $P_n(60 \leq k \leq 100) \approx 2 \cdot 0,4887 = 0,9774$ .

Як бачимо, отриманий результат  $p = 0,9774$  не суперечить раніше отриманій оцінці  $p \geq 0,808$ . Різниця в тому, що нерівність Чебишева дає лише нижню межу ймовірності шуканої події, а інтегральна теорема Муавра-Лапласа дає точну оцінку самої ймовірності. ◀

**Пр. 12.** → Комп'ютерний клас нараховує 120 персональних комп'ютерів (ПК). Ймовірність збою програмного забезпечення за проміжок часу  $T$  дорівнює 0,2. Оцінити ймовірність того, що

абсолютна величина різниці між числом ПК, в яких відмовило програмне забезпечення і середнім числом (математичним сподіванням) відмов за час  $T$  виявиться менше 5.

**SE** → Нехай  $X$  – дискретна випадкова величина, яка позначає число відмов ПК (за рахунок програмного забезпечення) за проміжок часу  $T$ . Вважаємо, що  $X$  є випадкова величина за розподілом Бернуллі. Обчислимо значення  $M(X)$  і  $D(X)$ . Маємо:  $M(X) = n p = 120 \cdot 0,2 = 24$ ;  $D(X) = n p q = 120 \cdot 0,2 \cdot 0,8 = 19,2$ . Для обчислення  $P\{|X - M(X)| < 5\}$  скористаємося нерівністю Чебишева у другій формі. Маємо:

$$P\{|X - M(X)| < \varepsilon\} \geq 1 - \frac{D(X)}{\varepsilon^2}.$$

У нашому випадку  $M(X) = 24$ ;  $D(X) = 19,2$ ;  $\varepsilon = 5$ . Тоді

$$P\{|X - M(X)| < 5\} \geq 1 - \frac{19,2}{25} = 0,232. \blacktriangleleft$$

Окрім нерівності Чебишева, теоретичну основу закону великих чисел становлять поняття збіжності послідовності випадкових величин за ймовірністю. Ці поняття узагальнюються теоремами Бернуллі, Чебишева та Ляпунова.

*Суть закону великих чисел полягає в наближенні середніх характеристик великого числа дослідів до відповідних сталих – не випадкових величин.*

До вказаних середніх характеристик відносяться відносні частоти подій та вибіркове середнє.

**ДВ** → За допомогою досліду чи експерименту отримують первинні емпіричні дані, які потім упорядковуються за збільшенням (або за зменшенням) послідовних значень  $x_1, x_2, \dots, x_k$  дискретної випадкової величини (кількісної ознаки, змінної)  $X$ , обсягом  $n$ .

Таким чином, отримують **варіаційний ряд** вибірки (від лат. *variation* – зміна). Термін «варіація» увів видатний французький математик і механік Ж. Лагранж (1736-1813) для позначення малого зміщення незалежної змінної або функціоналу.

Таким чином, вказані значення  $x_i, i \in \overline{1, k}$  – **варіанти вибірки обсягом  $k$** , де  $x_{i+1} > x_i$  ( $x_{i+1} \geq x_i$ ) або  $x_{i+1} < x_i$  ( $x_{i+1} \leq x_i$ ). Зазвичай, деякі варіанти спостерігаються (фіксуються) декілька разів.  $\blacktriangleleft$

**Частота  $n_i$  ( $n_1, n_2, \dots, n_k$ ) дорівнює числу спостережень, в яких випадкова величина  $X$  набула значення  $x_i, i \in \overline{1, k}$ .** Вказана послідовність варіант  $x_i, i \in \overline{1, k}$  записується разом з відповідними частотами  $n_i, i \in \overline{1, k}$  і отримується **емпіричний розподіл частот** (статистичний розподіл, розподіл емпіричних даних, вибірковий ряд розподілу тощо).

Зокрема, **дискретним статистичним розподілом вибірки (ДСР)** називається відповідність між варіантами  $x_i, i \in \overline{1, k}$  та їх частотами  $n_i$  або відносними частотами, які визначаються так:  $w_i = n_i / n$ .

**Генеральна сукупність** (від лат. *generis* – загальний) – сукупність всіх об'єктів (одиниць), щодо яких вчений має намір зробити висновок при вивченні конкретної проблеми.

Зазначимо, що аналогічно інтегральній (теоретичній) функції розподілу випадкової величини  $F(x) = P(X < x)$  у математичній статистиці вводиться поняття **емпірична функція розподілу** (інтегральна емпірична функція розподілу, статистична функція) – функція  $F^*(x)$ , що визначає для кожного значення  $x$  відносну частоту події  $X < x$ , тобто:  $F^*(x) = n_x / n$ , де  $n_x$  – число вибіркових значень випадкової величини  $X$ , які менші за число  $x$ ,  $n$  – обсяг вибірки, тобто кількість елементів (об'єктів), які досліджуються.

**ДВ→** Порівняємо генеральну сукупність (обсяг  $N$ ) і вибірку (обсяг  $n$ ). Для генеральної сукупності існують такі змістовні показники, як математичне сподівання, дисперсія, середньоквадратичне відхилення (стандартне відхилення), коефіцієнт кореляції тощо, а для вибіркової сукупності (вибірки) – вибіркоче середнє, вибіркова дисперсія, вибіркоче стандартне відхилення, коефіцієнт кореляції тощо.

Вказані змістовні показники для генеральної сукупності мають назву “*параметри*”, а для вибіркової сукупності – “*статистики*”.

Статистика, яка використовується як наближене значення невідомого параметра  $\theta_i, i \in \overline{1, N}$  генеральної сукупності  $\Theta$  називається *статистичною оцінкою*  $\tilde{\theta}$ .

Оцінювання певного параметра  $\theta_i, i \in \overline{1, N}$  генеральної сукупності  $\Theta$  здійснюється на основі статистики  $\tilde{\theta}$ , яка залежить від значень  $x_i, i \in \overline{1, n}$  випадкової величини  $X$ . Очевидно, в загальному випадку, статистична оцінка  $\tilde{\theta}$ , як випадкова величина, залежить від закону розподілу досліджуваної випадкової величини  $X$ , так і від обсягу вибірки  $n$ .

Таким чином, статистичною оцінкою можна назвати будь-яку функцію від результатів спостережень  $\tilde{\theta}(X)$ . Наприклад, статистичною оцінкою математичного сподівання  $M(X)$  може бути середнє арифметичне. Отже, *статистична оцінка*  $\tilde{\theta}$  – це вибіркова статистика, яка містить інформацію про відповідний параметр  $\theta_i, i \in \overline{1, N}$  генеральної сукупності  $\Theta$ .

Нехай  $x_1, x_2, \dots, x_n$  – вибірка з генеральної сукупності, де  $n$  – обсяг вибірки. **Вибірковим середнім** або **простим середнім арифметичним вибірки** називається число:

$$\bar{x}_e = \frac{1}{n}(x_1 + x_2 + \dots + x_n) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i. \quad (8.54)$$

Якщо маємо варіаційний ряд, у якому спостережувані варіанти  $x_1, x_2, \dots, x_k$  мають відповідно частоти  $n_1, n_2, \dots, n_k$ , причому  $\sum_{i=1}^k n_i = 1$ , то **вибірковим середнім** або **зваженим середньоарифметичним** називається число:

$$\bar{x}_e = \frac{1}{n}(x_1 \cdot n_1 + x_2 \cdot n_2 + \dots + x_k \cdot n_k) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k x_i \cdot n_i. \quad (8.55)$$

Вибіркове середнє може приймати різні числові значення при різних вибірках однакового обсягу. Тому розглядають емпіричний розподіл і числові характеристики вибіркового середнього. ◀

Закон великих чисел дає відповідь на запитання про те, за яких умов співпадають *апріорні* (теоретичні, “до дослідні”) ймовірності зі статистичними (емпіричними, *апостеріорними* – “на підставі дослідів”) ймовірностями, представленими у вигляді частот.

**Перший варіант закону великих чисел** встановлює факт наближення відносної частоти за необмеженого збільшення числа дослідів до відповідної сталої – ймовірності. Мається на увазі статистичні закономірності, що проявляються у властивості *стійкості відносної частоти*, або *статистичної стійкості*. За основу беруться теореми Пуассона і Бернуллі.

Установлення факту статистичної стійкості лежить в основі статистичних висновків в теорії та практиці контролю якості продукції. Реєстрація відносної частоти  $w_i = n_i / n$  браку продукції на певній виробничій операції дозволяє за відносно тривалого проміжку часу встановити її стійкість, а потім перейти до відповідної *теоретико-ймовірнісної моделі*, яка описує ймовірність браку. При



цьому, на підставі теорем закону великих чисел можна передбачити відносну частоту браку продукції в майбутньому та інші статистичні оцінки за умови незмінності вказаної операції.

**Теорема Пуассона:** якщо проводяться  $n$  незалежних випробувань й імовірність появи події в  $i$ -му випробуванні дорівнює  $p_i$  ( $i = \overline{1, n}$ ), то при збільшенні  $n$  частота  $W_n(A) = \frac{k}{n}$  події  $A$  збігається за ймовірністю до середнього арифметичного ймовірностей  $p_i$ , тобто:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \left\{ \left| \frac{k}{n} - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n p_i \right| \leq \varepsilon \right\} = 1 \quad (8.56)$$

де  $\varepsilon$  – будь-яке додатне число.

**Теорема Бернуллі:** відносна частота появи події  $A$  при  $n$  незалежних випробувань за схемою Бернуллі збігається за ймовірністю при  $n \rightarrow \infty$  з ймовірністю  $p$  появи події в одному випробуванні:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} P \left\{ \left| \frac{k}{n} - p \right| > \varepsilon \right\} = 0 \Leftrightarrow \lim_{n \rightarrow \infty} P \left\{ \left| \frac{k}{n} - p \right| \leq \varepsilon \right\} = 1, \quad (8.57)$$

де  $k$  – число появи події  $A$  при  $n$  незалежних випробувань,  $\varepsilon > 0$ .

Враховуючи (8.51), отримаємо **формулу Бернуллі**, яка дає можливість оцінити кількість незалежних випробувань  $n$  при певних умовах їх проведення

$$P \left\{ \left| \frac{k}{n} - p \right| \geq \varepsilon \right\} \leq \frac{pq}{n\varepsilon^2}. \quad (8.58)$$

Формула Бернуллі була першим варіантом в історії математики законом великих чисел та по суті вважається початком обґрунтування вибіркового методу математичної статистики апаратом теорії ймовірностей.

**Пр. 13.→** Імовірність виготовлення нестандартної (бракованої) деталі дорівнює 0,04. Яке найменше число деталей варто відібрати, щоб з ймовірністю 0,88 можна стверджувати, що частка нестандартних деталей серед них буде відрізнятися від ймовірності виготовлення нестандартної деталі за абсолютною величиною не більше ніж на 0,002 ?

**SE →** Дано  $p = 0,04$ ;  $q = 1 - 0,04 = 0,96$ ;  $\varepsilon = 0,002$ ;  $P = 0,88$ . Відповідно до умови задачі, потрібно взяти нерівність (8.51). Підставляємо вихідні дані задачі.

$$P \left( \left| \frac{k}{n} - p \right| \leq \varepsilon \right) \geq 1 - \frac{pq}{n\varepsilon^2} = 1 - \frac{0,04 \cdot 0,96}{n \cdot 0,002^2} = 0,88. \Rightarrow n = \frac{0,04 \cdot 0,96}{0,002^2 \cdot 0,12} = 800.$$

Отже, обсяг вибірки дорівнює 800 деталей, серед яких частота нестандартної деталі відрізняється від ймовірності виготовлення стандартної деталі за абсолютною величиною не більше ніж на 0,02. ◀

Формалізований вираз теореми Бернуллі можна подати через нормовану

функцію Лапласа:

$$P\left(\left|\frac{k}{n} - p\right| \leq \varepsilon\right) \approx 2\Phi\left(\varepsilon \cdot \sqrt{\frac{n}{pq}}\right). \quad (8.59)$$

Це означає, що ймовірність того, що в  $n$  незалежних випробувань за схемою Бернуллі абсолютне значення відхилення відносної частоти події  $A$  від імовірності  $P(A)$  цієї події не перевищує числа  $\varepsilon > 0$  для випадку великих значень  $n$ .

**Дов. →** Нехай у  $n$  незалежних випробуваннях подія  $A$  відбувається з постійною ймовірністю. Поставимо задачу знайти ймовірність  $P\left(\left|\frac{k}{n} - p\right| \leq \varepsilon\right)$  того, що відхилення відносної

частоти  $\frac{k}{n}$  події  $A$  від імовірності  $p$  за модулем не перевищує заданого числа  $\varepsilon > 0$ . Розв'язок поставленої задачі досить простий та ми його подаємо у вигляді ланцюга дій.

$$\left|\frac{k}{n} - p\right| \leq \varepsilon \Rightarrow -\varepsilon \leq \frac{k}{n} - p \leq \varepsilon \Rightarrow -n\varepsilon \leq k - np \leq n\varepsilon \Rightarrow np - n\varepsilon \leq k \leq np + n\varepsilon, \text{ де } k_1 = np - n\varepsilon; k_2 = np + n\varepsilon.$$

Далі скористаємося виразами:  $x_1 = \frac{k_1 - np}{\sqrt{npq}}$ ,  $x_2 = \frac{k_2 - np}{\sqrt{npq}}$ . Підставляємо:

$$x_1 = \frac{np - n\varepsilon - np}{\sqrt{npq}} = -\frac{n\varepsilon}{\sqrt{npq}} = -\varepsilon \sqrt{\frac{n}{pq}}; \quad x_2 = \frac{np + n\varepsilon - np}{\sqrt{npq}} = \frac{n\varepsilon}{\sqrt{npq}} = \varepsilon \sqrt{\frac{n}{pq}}.$$

Значить, шукана ймовірність за інтегральною теоремою Муавра-Лапласа (8.45) буде такою:

$$P_n(k_1 \leq k \leq k_2) \approx \Phi(x_2) - \Phi(x_1) \Rightarrow P\left(\left|\frac{k}{n} - p\right| \leq \varepsilon\right) = \Phi\left(\varepsilon \cdot \sqrt{\frac{n}{pq}}\right) - \Phi\left(-\varepsilon \cdot \sqrt{\frac{n}{pq}}\right) = 2\Phi\left(\varepsilon \cdot \sqrt{\frac{n}{pq}}\right). \blacktriangleleft$$

**Пр. 14. →** Імовірність того, що деталь нестандартна, дорівнює 0,1. Скільки деталей потрібно відібрати, щоб з імовірністю 0,9544 можна було стверджувати, що відносна частота появи нестандартних деталей відхиляється від постійної ймовірності  $p = 0,1$  за абсолютним значенням не більше ніж на 0,03.

**SE →** Маємо умови задачі:  $p = 0,1$ ;  $q = 0,9$ ;  $\varepsilon = 0,3$ ;  $P(|k/n - 0,1| \leq 0,03) = 0,9544$ .

Скориставшись формулою (8.59), напишемо:  $2\Phi\left(0,3 \cdot \sqrt{\frac{n}{0,1 \cdot 0,9}}\right) = 0,9544 \Rightarrow \Phi(0,1\sqrt{n}) = 0,4772$ .

Скористаємося таблицею значень нормованої функції Лапласа  $\Phi(x)$ .

x	$\Phi(x)$	x	$\Phi(x)$	x	$\Phi(x)$	x	$\Phi(x)$	x	$\Phi(x)$	x	$\Phi(x)$
0	0	0,5	0,1915	1	0,3413	1,5	0,4332	2	0,4772	3	0,4987

За таблицею знаходимо, що  $0,4772 = \Phi(2)$ , звідси  $2 = 0,1 \cdot \sqrt{n} \Rightarrow n = 400$  (деталей треба відібрати).

Розглянемо другий вид статистичної закономірності – **стійкість середнього значення**. Це означає, що результати випробувань (кількісні показники) відхиляються в той чи інший бік від деякого сталого значення під впливом різноманітних факторів, дія яких має тенденцію взаємного погашення індивідуальних відхилень. Як наслідок, середнє значення показника при

достатньому обсязі вибірки наближається до деякого сталого числа, тобто практично не залежить від випадку.

Розглянемо теорему Чебишева, яка є узагальненням і розвитком теореми Бернуллі.

**Теорема Чебишева** або закон великих чисел. Нехай випадкові величини  $X_1, X_2, \dots, X_n, \dots$  попарно незалежні, мають скінченні математичні сподівання  $M(X_i) = \mu_i$ , та рівномірно обмежені в сукупності дисперсії  $D(X_i) = \sigma_i^2 \leq \sigma^2, i = \overline{1, n}$ . Тоді для будь-якого числа  $\varepsilon > 0$  виконується:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} P \left\{ \left| \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \mu_i \right| < \varepsilon \right\} = 1, \quad (8.60)$$

тобто різниця між середнім арифметичним випадкових величин і середнім арифметичним їх математичних сподівань збігається за ймовірністю до нуля.

Це означає, що хоч окремі випадкові величини  $X_i$  ( $i = 1, 2, \dots$ ) можуть набувати значень, які досить віддалені від своїх математичних сподівань  $\mu_i$ , проте середнє арифметичне  $\overline{X_n}$  великого числа цих випадкових величин із імовірністю, близькою до одиниці, набуває значення, яке близьке до середнього арифметичного їх математичних сподівань  $\overline{\mu_n}$  (де за означеннями  $\overline{X_n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$ ;  $\overline{\mu_n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \mu_i$ ).

Закон великих чисел має широке практичне застосування та неоціненне значення. Наведемо тільки три приклади:

- ❖ На цьому законі ґрунтується вибірковий метод, що є одним із основних в статистиці: на підставі вивчення певної ознаки  $X$  для достатньо великої випадкової вибірки об'єктів роблять висновок про всю генеральну сукупність.
- ❖ Статистичне оцінювання побудовано на встановленому факті: вибіркове середнє  $\overline{X}$  є спроможною оцінкою свого аналога з генеральної сукупності  $\Theta$ .
- ❖ У метрології: при досить великій кількості незалежних вимірювань, із імовірністю близькою до одиниці можна стверджувати, що середнє арифметичне отриманих результатів буде як завгодно мало відрізнятися від дійсного (істинного) значення вимірюваної величини.

**Наслідок з теореми Чебишева.** Якщо послідовність попарно незалежних випадкових величин  $X_1, X_2, \dots, X_n, \dots$ , дисперсії яких обмежені константою  $C$  і які мають одне і те ж математичне сподівання  $\mu$ , то для будь-якого  $\varepsilon > 0$  існує збіг за ймовірністю нижче наведеного виразу при  $n \rightarrow \infty$ :

$$\lim_{n \rightarrow \infty} P \left\{ \left| \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i - \mu \right| < \varepsilon \right\} = 1. \quad (8.61)$$

**Пр. 15.→** Пристрій складається з десяти незалежно працюючих елементів. Імовірність відмови кожного елемента за проміжок часу  $T$  дорівнює 0,05. За допомогою нерівності Чебишева оцінити ймовірність того, що число відмов за час  $T$  виявиться: а) не менше двох; б) менше двох.

**SE** → Позначимо через  $X$  дискретну випадкову величину – число відмови елементів за проміжок часу  $T$ . Випадкова величина  $X$  є випадковою величиною за Бернуллі і тоді математичне сподівання  $M(X) = np = 10 \cdot 0,05 = 0,5$  і  $X$  приймає значення від 0 до 10, тобто  $X$  є невід’ємною випадковою величиною. Розглядаємо випадок: а) нам потрібно оцінити ймовірність події, пов’язаної з числом відмов  $P\{X \geq 2\}$ . За наслідком з першої нерівності Чебишева отримаємо:

$$P(X \geq \varepsilon) \leq \frac{M(X)}{\varepsilon} \Rightarrow P(X \geq 2) \leq \frac{0,5}{2} = 0,25.$$

Розглядаємо випадок: б) події (число відмов)  $\{X \geq 2\}$  і  $\{0 \leq X < 2\}$  є протилежними, тому сума їх імовірностей дорівнює одиниці. Відтак,  $P(0 \leq X < 2) = 1 - P(X > 2) = 1 - 0,25 = 0,75$ .

**Пр. 16.** → Однотипні вироби виготовляють на трьох автоматичних верстатах. Продуктивність 1-го верстата в 2 рази вища, ніж 2-го і в 1,5 рази вища, ніж 3-го. Імовірність виготовлення виробу вищої якості для 1-го верстата дорівнює 0,94, для 2-го – 0,95, для 3-го – 0,98. На цих верстатах за зміну виготовлено 6500 виробів. Знайти границі, у яких повинна перебувати частота виготовлення виробу вищої якості, якщо це необхідно гарантувати з імовірністю 0,9.

**SE** → При доведенні теореми Пуассона за допомогою нерівності Чебишева, одержуємо:

$$P\left(\left|\frac{k}{n} - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n p_i\right| \leq \varepsilon\right) \geq 1 - \frac{\sum_{i=1}^n p_i \cdot q_i}{n^2 \cdot \varepsilon^2} \quad (8.62)$$

Нехай продуктивність 1-го верстата є  $z$ . Тоді враховуючи умову задачі складемо рівняння:

$$z + \frac{1}{2}z + \frac{2}{3}z = 1 \Rightarrow z = \frac{6}{13}.$$

Тоді кількість виробів, які виготовлені на 1-му верстаті  $6500 \cdot \frac{6}{13} = 3000$ , на 2-му верстаті  $3000 / 2 = 1500$  і на 3-му –  $3000 / 1,5 = 2000$ . Розрахуємо середню ймовірність настання події  $A$  для 6500 виробів, виготовлених на трьох верстатах за зміну:

$$\bar{p} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n p_i = \frac{1}{6500} (0,94 \cdot 3000 + 0,95 \cdot 1500 + 0,98 \cdot 2000) = 0,954.$$

Далі застосуємо нерівність (8.61):

$$P\left(\left|\frac{k}{n} - 0,954\right| \leq \varepsilon\right) \geq 1 - \frac{(0,94 \cdot 0,06 \cdot 3000 + 0,95 \cdot 0,05 \cdot 1500 + 0,98 \cdot 0,02 \cdot 2000)}{6500^2 \cdot \varepsilon^2} = 0,9. \quad \text{Звідси маємо:}$$

$279,65 / (6500^2 \cdot \varepsilon^2) = 0,1 \Rightarrow \varepsilon \approx 0,008$ . Повертаючись до попередньої формули, отримуємо нерівність:  $|k/n - 0,954| \leq 0,008 \Rightarrow \begin{cases} k/n - 0,954 \leq 0,008, \\ -(k/n - 0,954) \leq 0,008. \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} k/n \leq 0,962, \\ k/n \geq 0,946. \end{cases}$

Таким чином, діапазон, в яких перебуває відносна частота виготовлення виробів вищої якості, такий (0,946; 0,962). Отже, з імовірністю не менше 0,9 можна стверджувати, що відносна частота виготовлення виробів вищої якості на верстатах знаходиться в інтервалі (0,946; 0,962). ◀

Відомий російський математик і механік О.М. Ляпунов (1857-1918) запропонував центральну граничну теорему, яка носить його ім’я. Ця теорема підтверджує універсальність нормального розподілу, уведеного найвидатнішим математиком XIX ст. Гауссом.

**Центральна гранична теорема Ляпунова:** Якщо дана послідовність випадкових величин  $X_1, X_2, \dots, X_n, \dots$ , які є незалежні, однаково розподілені, та для

них існують скінченні математичні сподівання та середні квадратичні відхилення  $M(X_i) = \mu$ ,  $\sigma(X_i) = \sigma$ ,  $i = \overline{1, n}$ , то закон розподілу їх стандартизованого середнього арифметичного

$$Y_n = \frac{1}{\sqrt{n}} \sum_{i=1}^n \frac{X_i - \mu}{\sigma} \quad (8.63)$$

при  $n \rightarrow \infty$  прямує за ймовірністю до нормального розподілу  $N(0, 1)$ , а саме  $\mu = 0$ ,  $\sigma = 1$ . Іншими словами, за вказаних умов функція розподілу  $F_{Y_n}(x)$  прямує до **функції Лапласа**  $\Phi(x)$ :

$$F_{Y_n}(x) = P(Y_n < x) \xrightarrow{n \rightarrow \infty} \Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{t^2}{2}} dt. \quad (8.64)$$

Якщо випадкові величини  $X_1, X_2, \dots, X_n, \dots$  мають різні розподіли, то гранична теорема Ляпунова справджується за умови, що вплив кожного доданка на всю суму незначний.

**П**→ Наведемо дещо інше формулювання центральної граничної теореми. Розглянемо послідовність незалежних випадкових величин  $X_1, X_2, \dots, X_n, \dots$ , які мають скінченні математичні сподівання  $\mu_i = M(X_i)$  і дисперсії  $\sigma_i^2 = D(X_i)$ ,  $i = 1, 2, \dots$ . Уведемо нову випадкову величину

$$Y_n = \sum_{i=1}^n X_i, \text{ для якої } M(Y_n) = \sum_{i=1}^n \mu_i, D(Y_n) = \sum_{i=1}^n \sigma_i^2. \quad \text{Тоді, якщо виконана}$$

$$\text{умова } \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\sum_{i=1}^n a_i}{\left(\sum_{i=1}^n \sigma_i^2\right)^{3/2}} = 0, \text{ де } a_i = M|X_i - \mu_i|^3, \text{ то для будь-якого числа } x \text{ маємо таку}$$

асимптотичну формулу (граничну рівність), яка формалізує **центральну граничну теорему Ляпунова**:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} P\left(\frac{Y_n - M(Y_n)}{\sigma(Y_n)} < x\right) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{z^2}{2}} dz = 0,5 + \Phi(x). \quad (8.65)$$

Таким чином, О.М. Ляпунов у **центральної граничної теоремі** довів, що закон розподілу нормованих відхилень суми  $Y_n$  за умови  $n \rightarrow \infty$  наближається до стандартного нормального закону розподілу. Це означає, що випадкова величина  $Y_n$  має асимптотично-нормальний розподіл.

Очевидно, що рівність (8.65) виконується при однакових математичних сподіваннях і дисперсіях:  $Y_n = \sum_{i=1}^n X_i$ ,  $M(Y_n) = n \cdot \mu$ ,  $\sigma^2(Y_n) = D(Y_n) = n \cdot \sigma^2$ .

Таким чином, **центральна гранична теорема** – це клас теорем теорії ймовірностей, що стверджують, що сума великої кількості незалежних (або слабо залежних) випадкових величин при визначених умовах має розподіл, близький до нормального. ◀

**Пр. 17.** → Наочною ілюстрацією дії центральної граничної теореми є розсіювання снарядів при артилерійській стрільбі та помилки при вимірюванні. Пояснити причини.

**SE** → У першому випадку на траєкторію снаряда діє велика кількість незалежних факторів, вплив кожного з яких невелика. Цими факторами є відхилення в масі заряду, в розмірі та масі снаряда, силі та напрямку вітру на різних висотах, щільності повітряних вихорів, що залежать від температури і вологості повітря і т. д. У результаті відхилення снаряда від цілі має приблизно нормальний закон розподілу. У другому випадку, при вимірюванні значень фізичних величин неминуче виникають помилки. Помилка, як правило, є сумою малих помилок, що виникають через дію випадкових факторів таких, як температура навколишнього середовища, стан спостерігача, стан вимірювального приладу і т. д. ◀

Підсумовуючи вище викладене, зазначимо, що одним з основних завдань теорії ймовірностей є встановлення закономірностей, що відбуваються з імовірностями близькими до одиниці. Ці закономірності повинні враховувати спільний вплив великого числа незалежних (або слабо залежних) діючих факторів. При цьому кожен фактор окремо характеризується незначним впливом. Будь-який умовивід, що встановлює зазначені вище закономірності, називається законом великих чисел.

*Закон великих чисел – це загальний принцип, в силу якого сукупна дія великого числа факторів спричиняє, при деяких досить загальних умовах, до результату, майже не залежного від випадку.*

---

## 8.4. Статистичні методи та інструменти контролю якості

---

Сутність теорії ймовірностей та математичної статистики, предмети та методи їх досліджень, основні задачі. Вибірка: суть, основна мета. Репрезентативна та рандомізована вибірки. Уявлення про кваліметрію та шкали оцінювання та вимірювання. Аналіз основних етапів первинної обробки та систематизації емпіричних даних. Закони розподілу генеральної сукупності. Поняття статистики та статистичної оцінки. Основні показники генеральної та вибіркової сукупностей. Властивості статистичної оцінки. Значення статистичних методів контролю якості.

---

Розглянуті у попередньому підрозділі питання відносяться переважно до методів *теорії ймовірностей*, яка вивчає властивості масових випадкових явищ, поданих *a priori* – від самого початку, до досвіду, тобто у вигляді математичних моделей. Вказані моделі вивчають випадкові події, тобто події, які за виконання певної сукупності умов (обставин) можуть відбутися або не відбутися. Очевидно, при цьому зачіпаються достовірні (вірогідні, вичерпні) події, які при виконанні певної сукупності умов обов'язково відбуваються, а також протилежні події – неможливі.

*Предметом дослідження теорії ймовірностей* є дослідження кількісних закономірностей, які спостерігаються в масових однорідних випадкових подіях. Теорія ймовірностей є теоретичною базою для математичної статистики.

*До методів дослідження* теорії ймовірностей відносяться метод повторення випробувань, максимальної правдоподібності, моментів, найменших квадратів і т. ін.

Математична статистика виникла в XVII ст. разом з теорією ймовірності. На відміну від теорії ймовірності, яка базується на методі дедукції та розглядає об'єкти дослідження на рівні *a priori* (до досвіду), математична статистика первісно

з'явилася як індуктивна наука, що досліджує статистичні дані а posteriori (на основі досліду).

У широкому розумінні, **статистика** – галузь знань, в якій викладаються загальні питання збору, оцінювання чи вимірювання, а також аналізу масових статистичних (кількісних або якісних) даних. Іншими словами, статистика має справу з вивченням кількісної сторони масових суспільних явищ в числовій формі.

**ДВ**→ Основна задача математичної статистики – розробка методів аналізу статистичних даних в залежності від мети дослідження. До інших задач, які розв'язує математична статистика, відносяться [32]:

- 1) розробка методів аналізу статистичних даних в залежності від мети дослідження;
- 2) вказати способи збору та групування статистичних відомостей;
- 3) визначити закон розподілу випадкової величини або системи випадкових величин за статистичними даними;
- 4) визначити невідомі параметри розподілу;
- 5) перевірити правдоподібність припущень про закон розподілу випадкової величини, про форму зв'язку між випадковими величинами або про значення параметрів, які оцінюють. ◀

*Проблема якості продукції впливає із її невідповідності стандартам, і, в кінцевому випадку, потребам споживачів. У зв'язку з цим, організують пошук даних, що характеризують невідповідність, виявити дефекти, розробити методи їх аналізу та обробки, виявити причини виникнення дефектів, розробити заходи їх усунення.*

Та частина статистики, яка обробляє емпіричні дані та будує математичні моделі називається математичною статистикою.

**Математична статистика** – це сучасна галузь математичної науки, яка має справу зі статистичним описом результатів експериментів і спостережень, а також з побудовою математичних моделей, що містять поняття ймовірності.

Математична статистика вивчає і одночасно відображає ймовірнісну, стохастичну (випадкову) природу явищ, процесів і подій, які спостерігаються в природі, техносфері, та соціальній сфері. Угорський математик і статистик А. Вальд говорив, що “математична статистика – це теорія прийняття рішень в умовах невизначеності”. У даному випадку мається на увазі один із типів невизначеності – “**стохастична невизначеність**” (від гр. *stochasis* – догадка, випадковість).

*Основний метод вивчення математичної статистики – статистичний, призначений систематизувати та обробляти статистичні дані однорідних дослідів.*

**Предмет дослідження математичної статистики** полягає у розробці методів збору та обробки статистичних даних для одержання наукових і практичних висновків.

Звично починають зі збору статистичних даних, які характеризують параметри продукції (виробу). Незаперечно, що кожний об'єкт ПГ має безліч ознак (властивостей), проте відповідно до мети статистичного дослідження вибирають, як правило, одну певну (визначену) ознаку. При цьому припускаємо, що множина об'єктів однорідна, або що інші ознаки рівноправні. Такі множини однорідних об'єктів або їх ознак називається **статистичною сукупністю** або **статистикою**.

На машинобудівному виробництві існує відділ технічного контролю якості, на якому досліджують партію деталей. Кожну деталь можна розглядати як об'єкт ПГ.

При цьому розрізняють:

- а) **якісні ознаки**, зокрема ознака, яка вказує на стандартність чи на нестандартність деталей;
- б) **кількісні ознаки**, зокрема розмір деталі (кількісні ознаки, в свою чергу, поділяються на *неперервні* та *дискретні*).

Результат відбору об'єктів (виробів, зокрема деталей) є вибірка. Відбирати об'єкти можна без повернення до ГС або з поверненням, проте головною умовою є випадковість (стохастичність) процесу відбору.

Сукупність об'єктів, з яких зроблено вибірку називається **генеральною сукупністю (ГС)**. При цьому формують **вибіркову сукупність, або вибірку** – це сукупність випадково вибраних із генеральної сукупності (ГС) об'єктів (елементів) для дослідження її якісної чи кількісної ознаки. Вид вибірки залежить від характеру послідовності процедур (алгоритму) відбору одиниць вибірки (елементів ГС).

**Основна мета вибірки** – здійснити статистичні висновки про характеристики ГС. Кількість елементів (об'єктів) даної сукупності складає **обсяг сукупності**. При цьому треба отримати по кожному параметру кількість даних, обсяг яких відповідає репрезентативній вибірці.

Для того щоб за вибіркою можна було досить упевнено судити про випадкову величину  $X$ , вона повинна бути **репрезентативною** (від лат. *representant* – представницька). Це означає, що ймовірнісні властивості вибірки повинні збігатися або асимптотично наближатися до властивостей ГС. Вибірка повинна **репрезентувати** (представляти) ГС, тобто правильно відображати ті властивості ГС, що вивчаються. Репрезентативна вибірка, яка сформована за стратегією випадкових випробувань, є **рандомізована вибірка** (від англ. *random* – випадковий).

Емпіричні дані отримуються в результаті спостережень, експериментальних дій, зокрема оцінювань або вимірювань, які здійснюються над об'єктами вибірки. Наукова дисципліна, яка вирішує проблему оцінювання та вимірювання якості в поєднанні з проблемою управління якістю продукції в суспільному виробництві має назву **кваліметрія**. Предмет кваліметрії включає дослідження як кількісних, так і якісних методів вимірювання й оцінювання якості об'єктів ПГ.

**ДВ** → Не вдаючись до викладення основ кваліметрії, звернемо увагу тільки на деякі моменти теорії та практики вимірювання й оцінювання, а також первинної обробки статистичних даних.

Як ми раніше зазначили, що в результаті оцінювання чи вимірювання об'єктів вибірки отримують емпіричні дані у вигляді кількісних ознак (неперервних чи дискретних). Результат оцінювання чи вимірювання кількісних ознак об'єктів вибірки, тобто значень  $x_1, x_1, x_1, \dots, x_n$  випадкової змінної  $X$  залежить від таких факторів, як множина властивостей об'єкта ПГ, бази порівняння (система шкал, еталонів, нормативів якості, критеріїв тощо), логіки оцінювання (вимірювання), що формалізується послідовністю операторів і виражається алгоритмом оцінювання та характеристик суб'єкта оцінювання, тобто його цілей, мотивів, потреб, інтересів.

Результат оцінювання виражається в слабких (неметричних) шкалах – **шкалі найменувань**  $S_0$  та в **шкалі порядку**  $S_1$ . Оцінюванню якості підлягають об'єкти, які характеризуються **інтенсивними величинами**. Ці величини відзначають стан фізичного об'єкта (наприклад густина, колір, температура, надійність об'єкта тощо). Це може бути абсолютний чи відносний стан. Зокрема, в рангових шкалах визначають відносну інтенсивність якості об'єктів (наприклад, відносна твердість мінералів за шкалою Мооса).

Процедура вимірювання здійснюється в метричних шкалах – **шкалі інтервалів**  $S_2$  та в **шкалі відношень**  $S_3$ . Підкреслимо, що вимірюванню підлягають тільки **екстенсивні величини** –



величини, які мають ознаку адитивності (до цих величин застосовна операція додавання). Це більшість величин, які характеризують фізичні властивості об'єктів (довжина, маса, сила, електрична напруга, енергія тощо).

Вид вибірки залежить від характеру послідовності процедур (алгоритму) відбору одиниць вибірки (елементів ГС). Основна вимога до вибірки – вона повинна бути репрезентативною, тобто правильно відображати ті властивості ГС, що вивчаються. **Обсяг вибірки**  $n$  – це кількість елементів (об'єктів). Очевидно, що в загальному випадку маємо  $n \ll n^2$ , де  $n^2$  – обсяг ГС.

Емпіричні дані, які отримані шляхом оцінювання чи вимірювання властивостей вибірових об'єктів, повинні пройти первинну обробку і систематизацію відповідно до таких **етапів**:

- 1) **етап табуляції** (внесення даних в табличні форми);
- 2) **упорядкування** даних у вигляді варіаційної послідовності (ряду);
- 3) **подання даних у вигляді емпіричного розподілу** (інші назви: “емпіричний розподіл частот”, “статистичний розподіл”, “розподіл емпіричних даних”, “вибіровий ряд розподілу” тощо);

**1.Етап табуляції.** Нехай за час дослідження кількісної ознаки, тобто значень випадкової змінної  $X$ , із ГС була отримана вибірка (первинні емпіричні лані): 4, 3, 6, 4, 7, 2, 5, 1, 2, 5, 4, 4, 3, 5, 6, 3, 4, 1, 3, 4. Ця вибірка складається з 20 значень, тому обсяг вибірки  $n = 20$ . Зазначимо, що ми маємо значення дискретної випадкової величини  $X$ .

**2.Етап упорядкування первинних даних.** Побудуємо варіаційний ряд вибірки (від. лат. variation – зміна). **Варіаційний ряд** – це упорядкована за збільшенням (або за зменшенням) послідовність значень досліджуваної змінної  $X$ , тобто:

$$x_1, x_2, \dots, x_k \quad (8.66)$$

де  $x_i, i \in \overline{1, k}$  – варіанти вибірки обсягом  $n$  (де  $k$  – кількість варіант),  $x_{i+1} > x_i$  ( $x_{i+1} \geq x_i$ ) або  $x_{i+1} < x_i$  ( $x_{i+1} \leq x_i$ ).

**3.Етап формування емпіричного розподілу.** Для нашого прикладу побудуємо варіаційний ряд вибірки: 1, 1, 2, 2, 3, 3, 3, 3, 4, 4, 4, 4, 4, 4, 5, 5, 5, 6, 6, 7.

**Значення ознаки  $X$ , які спостерігаються, оцінюються чи вимірюються називаються варіантами.**

У даній вибірці всього сім різних значень (варіантів): 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7.

**Послідовність варіант, записаних в зростаючому порядку – варіаційний ряд.**

**Частота  $n_i, i \in \overline{1, k}$  дорівнює числу спостережень, в яких випадкова величина  $X$  набула значень  $x_i, i \in \overline{1, k}$ .**

Знайдемо частоти варіант:  $n_1 = 2; n_2 = 2; n_3 = 4; n_4 = 6; n_5 = 3; n_6 = 2; n_7 = 1$ . Напишемо отриманий емпіричний (статистичний) розподіл у вигляді таблиці:

$x_i$	1	2	3	4	5	6	7
$n_i$	2	2	4	6	3	2	1

Обсяг вибірки  $n = 20$ , тому можемо визначити відносні частоти:  $w_1 = 2/20 = 0,1; w_2 = 2/20 = 0,1; w_3 = 4/20 = 0,2; w_4 = 6/20 = 0,3; w_5 = 3/20 = 0,15; w_6 = 2/20 = 0,1; w_7 = 1/20 = 0,05$ . Напишемо отриманий розподіл відносних частот у вигляді таблиці:

$x_i$	1	2	3	4	5	6	7
$w_i = n_i / n$	0,1	0,1	0,2	0,3	0,15	0,1	0,05

Математична модель об'єкта реальності, яка задана у вигляді переліку варіант  $x_i, i \in \overline{1, k}$  варіаційного ряду та відповідних їм частот  $n_i, i \in \overline{1, k}$  або відносних частот  $w_i = n_i / n, i \in \overline{1, k}$  називається **статистичним (емпіричним) розподілом вибірки (СРВ)**.

Таким чином, для дискретної випадкової величини  $X$  можна отримати статистичні розподіли: абсолютний і відносний.

Отже, **дискретним статистичним розподілом вибірки (ДСР)** називається відповідність між варіантами  $x_i, i \in \overline{1, k}$  та їх частотами  $n_i, i \in \overline{1, k}$  або відносними частотами (“вагами”)  $w_i = n_i / n$ . Очевидно, що виконуються рівності:

$$\sum_{i=1}^k n_i = n, \quad \sum_{i=1}^k w_i = 1, \quad (8.67)$$

де  $n$  – обсяг вибірки ( $n \ll n^e$ ).

Нехай випадкова величина  $X$  є неперервною. З теорії ймовірностей відомо, що в цьому випадку ймовірність кожного окремого значення дорівнює нулю, тому статистичний розподіл записують як інтервальный варіаційний ряд частот або відносних частот. Для цього весь діапазон зміни ознаки  $X$  від найменшої ( $x_{\min}$ ) до найбільшої ( $x_{\max}$ ) розбивають на певне число проміжків, як правило, однакової довжини  $[x_0, x_1), [x_1, x_2), \dots, [x_{m-1}, x_m]$  і збирають в окремі групи елементи сукупності, для яких величина  $X$  набуває значень у кожному з проміжків. Частота  $n_i$  події  $X \in [x_{i-1}, x_i)$  обчислюється як число дослідів, в яких значення випадкової величини  $X$  потрапило в  $i$ -й проміжок  $X \in [x_{i-1}, x_i)$ , а відносна частота події  $w_i = n_i / n$ .

Таким чином, для неперервної випадкової величини (НВВ) визначається **інтервальный статистичний розподіл (ІСР)** вибірки – це відповідність між проміжками варіаційного ряду та їх частотами або відносними частотами.

Очевидно, що ІСР можна за необхідності замінити на ДСР. Для цього треба частинні проміжки  $[x_{i-1}, x_i)$  замінити числами – серединами цих проміжків, тобто прийняти  $x_i = (x_{i-1} + x_i) / 2$ , а відповідні їм значення частот (відносних частот) залишити без змін.

Таким чином, СРВ можна задати також у вигляді послідовності інтервалів і відповідних їм частот (частота інтервалу – сума частот варіант, які попали в цей інтервал). У даному випадку середини інтервалів приймаються як варіанти.

Статистичні розподіли в залежності від даних, що отримані за певною шкалою, поділяються на:

- 1) *варіаційні* (шкала відношень або інтервалів);
- 2) *ранжировані* (порядкові або рангові шкали);
- 3) *атрибутивні* (номінальна шкала).

Наприклад, спостерігають якість (величину) врожаю на 10 дослідницьких ділянках. Результати спостережень подані в таблиці, де  $N$  – номер ділянки,  $X$  – врожай у центнерах з гектару.

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
X	15,2	19,1	17,1	20,8	18,4	16,4	22	20,4	17,6	18,2

Групування даних на інтервалах врожайності дозволяє одержати ІСР вибірки у вигляді таблиці:

Інтервали, ц/га	15-17	17-19	19-21	21-23	Усього
Кількість ділянок	2	4	3	1	10

Геометричною інтерпретацією ДСР є *полігон частот*  $n_i, i \in \overline{1, k}$  або *полігон відносних частот*  $w_i = n_i / n, i \in \overline{1, k}$ , а також *гістограма* частот (відносних частот). ◀

Порівняємо генеральну сукупність (обсяг  $N$ ) і вибірку (обсяг  $n$ ). Закон розподілу *генеральної сукупності*  $\Theta$  досліджуваної випадкової величини  $X$  визначений з точністю до значень, які входять до його розподілу параметрів  $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_q$ :

$$\Theta = \Theta (\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_q) \quad (8.68)$$

Частина з параметрів  $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_q$  може бути відома. Наприклад, диференціальна функція показникового розподілу  $f(x) = \lambda \cdot \exp(-\lambda x), x \geq 0$ , залежить від одного параметра  $\lambda$ ; нормальний розподіл зі щільністю ймовірності  $f(x) = 1/(\sigma\sqrt{2\pi}) \cdot \exp\left\{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right\}$  залежить від двох параметрів  $\mu$  і  $\sigma$ .

Проте для обчислення вказаних параметрів досліджувати всі елементи  $\theta_i, i \in \overline{1, q}$  генеральної сукупності  $\Theta$  не є можливим.

Як раціональний вихід з положення, про параметри  $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_q$  генеральної сукупності  $\Theta$  намагаються судити за вибіркою з варіантами  $x_i, i \in \overline{1, k}$ , ( $k$  – кількість варіант) та обсягом  $n$ .

Оцінка невідомих параметрів  $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_q$  генеральної сукупності  $\Theta$  полягає в побудові функції

$$\tilde{\theta} = \tilde{\theta} (x_1, x_2, \dots, x_k) \quad (8.69)$$

від випадкової вибірки, і такої, що значення цієї функції наближено дорівнюють оцінюваному невідомому параметру  $\theta_i, i \in \overline{1, q}$  генеральної сукупності.

Як ми раніше розглядали, оцінювання невідомих параметрів  $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_q$  генеральної сукупності  $\Theta$  здійснюється на основі емпіричного розподілу вибіркової сукупності (вибірки) шляхом побудови функції  $\tilde{\theta} = \tilde{\theta} (x_1, x_2, \dots, x_k)$ , яка називається *статистикою*.

*Статистика, яка використовується як наближене значення невідомого параметра  $\theta_i, i \in \overline{1, q}$  генеральної сукупності  $\Theta$  називається статистичною оцінкою.*

Отже, *статистична оцінка  $\tilde{\theta}$  – це вибіркова статистика, яка містить інформацію про відповідний параметр  $\theta_i, i \in \overline{1, q}$  генеральної сукупності  $\Theta$ .*

Оцінювання певного параметра  $\theta_i, i \in \overline{1, q}$  генеральної сукупності  $\Theta$  виконується на основі статистики  $\tilde{\theta}$ , яка в свою чергу є випадковою величиною, тобто залежить від значень  $x_1, x_2, \dots, x_k$  випадкової величини  $X$ .

Очевидно, в загальному випадку, статистична оцінка  $\tilde{\theta}$ , як випадкова величина, залежить від закону розподілу досліджуваної випадкової величини  $X$ , так і від обсягу вибірки  $n$ .

Таким чином, **статистичною оцінкою** можна назвати будь-яку функцію від результатів спостережень  $\tilde{\theta}(X)$ . Наприклад, статистичною оцінкою математичного сподівання  $M(X)$  може бути такі статистики, як середнє арифметичне, мода та медіана, які можуть приймати різні значення в залежності від обсягу вибірки  $n$  (табл. 8.2).

Таблиця 8.2

Основні показники генеральної та вибіркової сукупностей

Показники сукупностей	Генеральна сукупність	Вибіркова сукупність
	<i>параметри:</i>	<i>статистики:</i>
Середнє арифметичне	$M(X)$	$\bar{x}_g, Mo, Me$
Дисперсія	$D(X)$	$D_B$
Стандартне відхилення	$\sigma$	$S_x$
Коефіцієнт кореляції	$\rho_{xy}$	$r_{xy}$
Обсяг	$N$	$n$

Закон розподілу статистики  $\tilde{\theta}(X)$  в загальному випадку залежить від класу закону розподілу випадкової величини  $X$ , параметрів цього закону, а також від повноти наших знань про гіпотетичний закон розподілу.

Статистику  $\tilde{\theta}(X)$  можна розглядати як випадкову величину, яка характеризується **числовими характеристиками** – початковими та центральними емпіричними моментами (вибіркоче середнє, дисперсія, асиметрія, ексцес та ін.). Ці характеристики є статистичними **точковими оцінками** невідомих параметрів  $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_q$  теоретичного розподілу (біноміального, нормального, Стюдента, Фішера,  $\chi$ -квадрат та ін.).

Вибірковий розподіл статистичної оцінки  $\tilde{\theta}_g(X)$  поблизу істинного значення параметра  $\theta_i, i = \overline{1, q}$  генеральної сукупності  $\Theta$  задовольняє умові: математичне сподівання квадрату відхилення конкретної оцінки  $\tilde{\theta}_{gi}(X)$  від параметра  $\theta_i, i = \overline{1, q}$  генеральної сукупності  $\Theta$  має бути як найменшим:

$$M[\tilde{\theta}_{gi}(X) - \theta_i] = \min, i = \overline{1, q}. \quad (8.70)$$

Для статистичного оцінювання параметрів  $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_q$  генеральної сукупності  $\Theta$  потрібно використовувати оцінки, які одночасно задовольняють вимоги **спроможності, незміщеності й ефективності**.

**П**→ Маючи статистику певної вибірки можна з певною статистичною похибкою оцінити параметри  $\theta_i, i = \overline{1, q}$  генеральної сукупності  $\Theta$ . Очевидно, що статистична оцінка  $\tilde{\theta}_i, i = \overline{1, k}$ , є також випадкова величина, якій притаманний неконтрольований розкид навколо

параметру  $\theta_i, i = \overline{1, q}$  генеральної сукупності  $\Theta$ . При прийнятті статистичних рішень втрата інформації повинна бути мінімальною, а це вимагає надійності статистичної оцінки. Звідси, статистичні оцінки повинні відповідати таким трьом властивостям [178, с. 154 - 156]:

**1. Обґрунтованість (спроможність).** Статистична оцінка  $\tilde{\theta}_i, i = \overline{1, k}$  є обґрунтована за умови, коли при постійному збільшенню обсягу вибірки ( $n \rightarrow \infty$ ) вона наближається до значення параметра  $\theta_i, i = \overline{1, q}$  генеральної сукупності  $\Theta$ , який оцінюється. Іншими словами, обґрунтована оцінка  $\tilde{\theta}_i, i = \overline{1, k}$  зі збільшенням обсягу вибірки ( $n \rightarrow \infty$ ) збігається за ймовірністю з точним значенням параметра  $\theta_i, i = \overline{1, q}$  генеральної сукупності  $\Theta$ . При цьому, для будь-якого додатного числа  $\varepsilon$  справедливе співвідношення:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} P\{ | [\tilde{\theta}_{gi}(X) - \theta_i] | < \varepsilon \} = 1 . \quad (8.71)$$

Наприклад, вибіркове середнє  $\bar{x}_g$  є спроможною оцінкою генерального середнього  $M(X)$  (математичного сподівання), оскільки при збільшенні числа випробувань  $n$  вибіркове середнє наближається до свого математичного сподівання. Очевидно, що обґрунтованість оцінки  $\tilde{\theta}_i, i = \overline{1, k}$  параметра  $\theta_i, i = \overline{1, q}$  означає, що зі збільшенням обсягу  $n$  вибірки **якість оцінки** поліпшується.

**2. Незміщеність.** Статистика вважається незміщеною, якщо її математичне сподівання дорівнює параметру, що оцінюється. Як ми покажемо далі, вибіркове середнє  $\bar{x}_g$  є незміщеною оцінкою генерального середнього  $M(X) \equiv \mu$ , а вибіркова дисперсія  $D_B$  є зміщеною, хоча і спроможною оцінкою відповідного параметра  $D(X)$  генеральної сукупності  $\Theta$ .

**3. Ефективність.** Точкова оцінка  $\tilde{\theta}_i, i = \overline{1, k}$  називається ефективною, якщо вона має найменшу міру дисперсії вибіркового розподілу у порівнянні з аналогічними оцінками, тобто виявляє найменшу випадкову варіативність. Наприклад, серед трьох показників положення центру нормального розподілу, а саме середнього  $\bar{X}$ , моди  $M_0$  і медіани  $Me$ , найбільш ефективною оцінкою вважається  $\bar{X}$ , а найменш ефективною –  $M_0$ , оскільки для дисперсії цих показників характерним є співвідношення:

$$s_x^2 < s_{Me}^2 < s_{M_0}^2 . \quad (8.72)$$

Часто оцінка стає ефективною зі збільшенням обсягу вибірки. **Асимптотичною ефективною** називається гранична ефективність оцінки при  $n \rightarrow \infty$ . Якщо асимптотична ефективність дорівнює одиниці, оцінка називається **асимптотично ефективною**. ◀

Статистичні методи контролю якості використовує весь арсенал відомих класичних і сучасних статистичних методів на різних етапах дослідження: збір, обробка, аналіз статистичних даних, побудова ймовірнісних моделей. Для аналізу та виявлення дефектів і браку виробів використовуються методи статистичного оцінювання, кореляційний і регресійний аналізи, перевірка статистичних гіпотез про чисельні значення параметрів, методи виявлення відмінностей і зсуву у рівні ознаки, методи перевірки значущості коефіцієнтів кореляції, дисперсійний аналіз, аналіз часових рядів і т. ін.

Статистичні методи контролю якості успішно використовуються під час визначення рівня якості та конкурентоспроможності продукції (надійність, живучість, довговічність), аналізу дефектів та змін характеристик продукції у процесі експлуатації, приймального контролю, оптимізації витрат на якість, управління технологічними процесами і т. д.

Неоціненне значення статистичних методів підкреслював відомий японський фахівець в галузі теорії якості, професор К. Ісікава, зазначаючи, що 95% усіх проблем будь-якого підприємства чи організації можуть бути вирішені за допомогою статистичних методів контролю якості.

## 8.5. Сім традиційних методів контролю якості

Аналіз традиційних методів контролю якості: контрольний листок, контрольна карта, діаграма Ісікави, гістограма, діаграма Парето, діаграма розсіювання, стратифікація.

Для вирішення проблем, пов'язаних з якістю, використовують сім традиційних методів, або сім інструментів оцінювання, вимірювання, контролю та покращення якості, які входять до "родини інструментів контролю якості":

1. Контрольний листок.
2. Контрольна карта.
3. Діаграма Ісікави (причинно-наслідкова діаграма).
4. Гістограма.
5. Діаграма Парето.
6. Діаграма розсіювання.
7. Стратифікація.

**1. Контрольний листок** – це інструмент первинної реєстрації даних у вигляді визначеної форми, в якій заздалегідь надруковані контрольні параметри. Він призначений для швидкого і точного запису даних вимірів під час контролю і перевірки (рис. 8.9).

Контроль поставок, дата .....									
№ з/п	Загальна кількість дефектів	Види дефектів							
		А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	З
1	20	3	2	0	1	7	4	2	1
2	21	1	0	1	1	3	5	7	3
3	15	1	4	3	2	4	0	0	1
...		...	...	...	...	...	...	...	...

Рис. 8.9. Приклад оформлення контрольного листа

Умови застосування контрольного листа:

- зібрані дані мають бути однорідними;
- ознаки дефектності чи браку можуть бути якісні та кількісні;
- об'єктивно зафіксована кількість дефектів, які диференційовані на види – це факти;
- контрольний лист є допоміжним засобом для побудови контрольних карт, гістограм.

**2. Контрольні карти Шухарта** – це графік зміни параметрів вибірки, зазвичай середнього значення і стандартного відхилення.

Контрольна карта вперше введена в 1924 р. У. Шухартом з метою виключення відхилень, викликаних не випадковими причинами, а при порушенні процесу обробки деталей (технології обробки).

Розрізняють контрольні карти для кількісних та якісних ознак. Мета побудови контрольної карти – виявлення точок виходу процесу із стійкого стану для подальшого встановлення причин відхилення та його усунення.

За суттю контрольна карта являє собою **часовий ряд** (*time series*) – ряд точок даних, які проіндексовані або перелічені та відкладені на графіку в хронологічному порядку (він є послідовністю даних дискретного часу). Особливістю цього ряду є те, що він обмежений по обидва боки від середньої лінії процесу верхньою і нижньою межею.

Контрольні карти якісних ознак мають такі різновиди: для кількості дефектних виробів, для кількості дефектів у вибірці, для кількості дефектів на один виріб, для частки дефектних виробів.

Найчастіше використовують контрольні карти кількісних ознак, які, як правило, є здвоєними картами: одна з них відображає зміну середнього значення процесу, інші – розкиду значень процесу.

Як відомо з математичної статистики, розмах процесу є по суті розмах варіювання  $R$  – різниця між найбільшою та найменшою варіантами варіаційного ряду:

$$R = x_{max} - x_{min} . \quad (8.73)$$

Розмах процесу може також визначатися значенням середньоквадратичного відхилення випадкової величини  $X$ :

$$\sigma = \sqrt{D(X)} . \quad (8.74)$$

Контрольна карта Шухарта (рис. 8.10), має **контрольні границі** – коридор, всередині якого лежать значення при стабільному стані процесу (подробиці див. в [125]).

Контрольні границі розраховуються за формулами, жорстко прив'язаними до типу карти. Ці межі обчислюються за даними про процес, і ніяк не пов'язані з допусками:

- ✓  $CL$  – центральна лінія (зазвичай середнє значення або медіана за деяким обсягом даних);
- ✓  $LCL$  – нижня контрольна межа, наприклад  $-3\sigma$ ;
- ✓  $UCL$  – верхня контрольна межа, наприклад  $+3\sigma$ .

Верхня та нижня контрольні межі визначаються правилом трьох сигм: Якщо випадкова неперервна величина  $X$  має нормальний закон розподілу з параметрами  $\mu$  і  $\sigma$ , тобто  $N(\mu, \sigma)$ , то практично достовірно, що її значення знаходяться в інтервалі  $(\mu - 3\sigma; \mu + 3\sigma)$ . Порушення цього правила є подією практично не можливою, оскільки його ймовірність досить мала:

$$P(|X - \mu| \geq 3\sigma) = 1 - P(|X - \mu| < 3\sigma) = 1 - 2\Phi(3) = 1 - 0,9973 = 0,0027, \quad (5.75)$$

де  $\Phi(x) = (1/\sqrt{2\pi}) \cdot \int_0^x e^{-t^2/2} dt$  – функція Лапласа, або інтеграл імовірності.

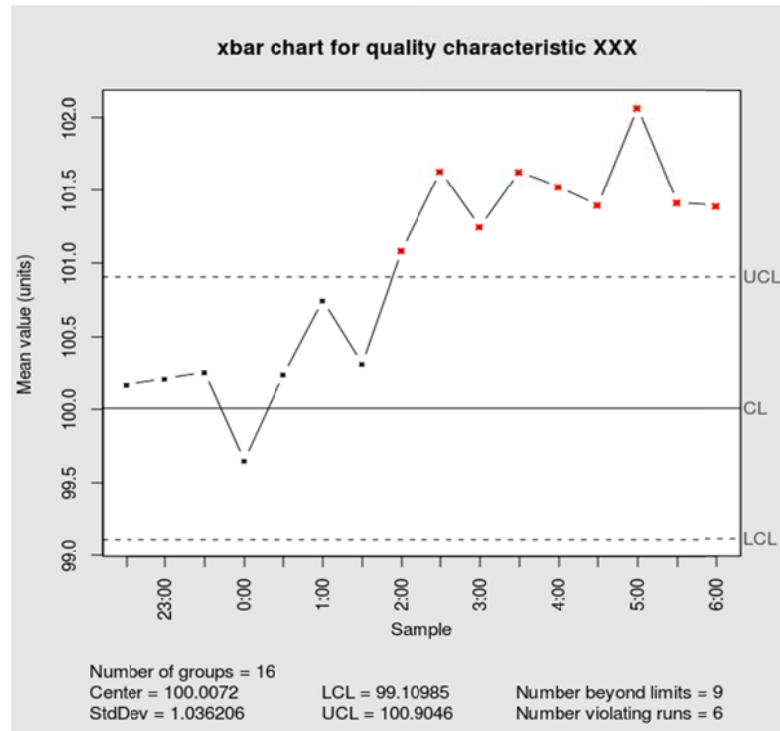


Рис. 8.10. Контрольна карта Шухарта (*sample* – вибірка, зразок; *mean value (units)* – середнє значення)

Таким чином, контрольні карти – графіки часових рядів зі статистично визначеними верхньою і нижньою межами, що нанесені по обидві боки від середньої лінії процесу. Якщо досліджувані показники виходять за контрольні межі, то це означає порушення стабільності виробничого процесу та вимагає проведення аналізу причин, а потім вжиття відповідних коригувальних заходів.

П→ До завдань побудови контрольної картки відносяться:

- визначення можливостей виробничого процесу;
- визначення точок флуктуації;
- прогнозування якості процесу.

Параметр вихідного процесу завжди має мінливість унаслідок дії різних шумів (малих короточасних відхилень входів і внутрішніх параметрів від середнього значення). Факторів слабких (малих) шумів зазвичай багато, і тому вони частково компенсують один одного. Внаслідок цього в стійкому стані виходи процесу лежать в певному **коридорі** – зоні системної **варіабельності процесу**. Імовірність виходу параметра за межі цього коридору під дією тільки шумів не дорівнює нулю, але, як правило, мала.

Якщо довести вплив окремого фактора шумів на відхилення виходу з необхідною ймовірністю не можливо, то цей фактор називають **незначущим**. Деякі слабкі фактори шумів стають **значущими** при великій вибірці, але при цьому їх вплив все одно буде дуже малим, оскільки тих факторів, що викликають шуми багато. Практичний інтерес представляють крупні відхилення вихідного параметра, що перевищують звичайну його мінливість. Зазвичай крупні відхилення є значущими. ◀

**3. Діаграма Ісікави.** Вказана діаграма відома як **діаграма “риб’ячої кістки”** (*fishbone diagram*) або **“причинно-наслідкова”** діаграма (*cause and effect diagram*), а також як діаграма **“аналізу кореневих причин”**.

Це графічний спосіб дослідження та визначення найбільш суттєвих причинно-наслідкових взаємозв'язків між об'єктивними факторами (або суб'єктивними чинниками) та наслідками у досліджуваній ситуації чи проблемі.



Діаграма названа на честь Каору Ісікави – видатного японського теоретика менеджменту. Вона, як і більшість інструментів якості, унаочнює роботу над покращенням якості виробничих процесів, а саме є засобом візуалізації та організації знань, який систематичним чином полегшує розуміння та кінцеву діагностику певної проблеми і надає можливість виявити ключові взаємозв'язки між різними факторами та більш достеменно зрозуміти досліджуваний процес. Діаграма сприяє визначенню головних факторів (чинників), які спричиняють найбільший негативний внесок до проблеми, що розглядається, та попередженню або усуненню їх дії.

Вигляд причинно-наслідкової діаграми нагадує кістяк риби (очі звичайно рухаються зліва направо, як при читанні рядка тексту). Проблема позначається основною стрілкою –аналог великої кістки. Далі проблема розчленовується на підпроблеми – аналог середніх кісток. І, нарешті, декомпозиція підпроблем на задачі – аналог дрібних кісточок (рис. 8.11). Фактори (чинники), що посилюють проблему, відображають стрілками, похиленими до основної праворуч, а ті, що нейтралізують проблему – з нахилом ліворуч.

При поглибленні рівня аналізу до стрілок факторів додають стрілки впливаючих на них факторів (чинників) другого порядку і т. д. Ці фактори позначені категоріями (поняттями) 1-го рівня аналізу (головні, корінні): причина 1, причина 2 тощо. При поглибленні рівня аналізу до стрілок факторів (чинників) можуть бути додані стрілки впливаючих на них факторів (чинників) другого порядку (підрівень 1, підрівень 2 тощо).

Ключове завдання полягає у тому, щоб мати від трьох до шести основних категорій, які охоплюють всі можливі впливи факторів (чинників).

Максимальна глибина такого дерева може сягати 5 рівнів та відтворювати всю глибину проблеми та пов'язану з нею так звані “глибинні знання”. Коли така створювана діаграма є повною, вона відтворює досить повну картину всіх можливих основних причин визначеної проблеми.

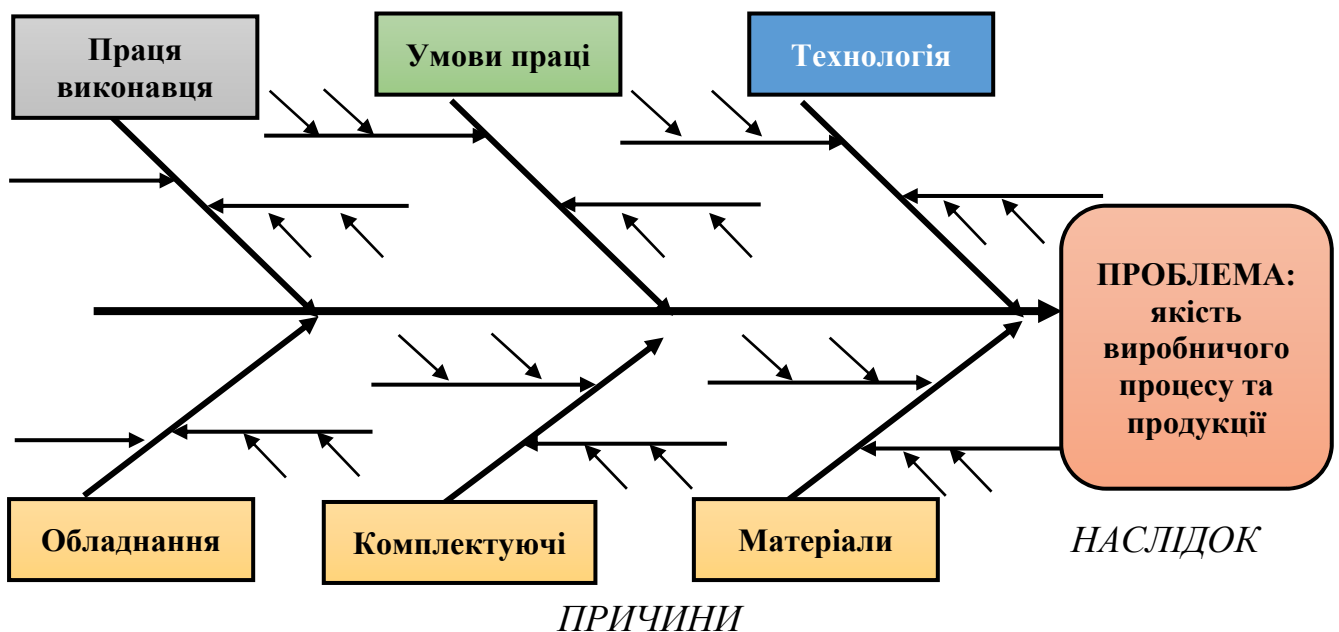


Рис. 8.11. Діаграма Ісікави (“риб'яча кістка”) покращення якості виробничих процесів та якості продукції

Нехай проблемою буде **брак виробів**. Тоді роль категорій, причинних факторів (чинників) і підрівнів цих факторів (чинників) можуть бути:

1. Категорія (1+): **Матеріали**  $\Leftrightarrow$  Причинні фактори 1: хімічний склад, домішки, вологість, доставка.
2. Категорія (2+): **Комплектуючі**  $\Leftrightarrow$  Причинні фактори 2: точність, контроль приймання; зберігання  $\rightarrow$  температура, вологість.
3. Категорія (3 –): **Обладнання (машини)**  $\Leftrightarrow$  Причинні фактори 3: Ступінь зношеності верстата; точність обробки деталі; обслуговування верстата.
4. Категорія (4 –): **Технологія**  $\Leftrightarrow$  Причинні фактори 4: Засоби виміру; інструмент; наявність оснащення; документація; технологічна дисципліна.
5. Категорія (5+): **Умови праці**  $\Leftrightarrow$  Причинні фактори 5: культура виробництва; робоче місце  $\rightarrow$  освітленість, шум, мікроклімат, випромінювання.
6. Категорія (6 –): **Праця виконавця**  $\Leftrightarrow$  Причинні чинники 6: Кваліфікація; досвід; професійна компетентність; дисципліна.

Таким чином, діаграма Ісікави є наочним інструментом дослідження проблем, її розчленування на підпроблеми і задачі, а також встановлення об'єктивних факторів і суб'єктивних чинників, які як посилюють проблему (похилені до основної проблеми праворуч), так і ті фактори та чинники, які нейтралізують проблему (похилені до основної проблеми ліворуч). Поглиблення рівня аналізу спричиняє до виявлення факторів і чинників другого, третього і т. д. порядків.

**4. Гістограма.** Гістограма – графічне приближене уявлення щільності розподілу ймовірності випадкової величини, яке побудоване за вибіркою кінцевого обсягу (від грец. *histos* – тут стовп + *gramma* – межа, буква, написання). Іншими словами, гістограма – спосіб графічного подання табличних даних.

Цей термін був введений відомим статистом Карлом Пірсоном (Karl Pearson) для позначення “загальної форми графічного зображення”. На рис. 8.12 зображена стовпчикова діаграма (*bar chart*), тобто гістограма, що складається з прямокутників без розривів між ними, в якій з кожним стовпцем асоціюється окремий “базисний” елемент. Стовпчики мають однакову ширину, проте різну висоту.

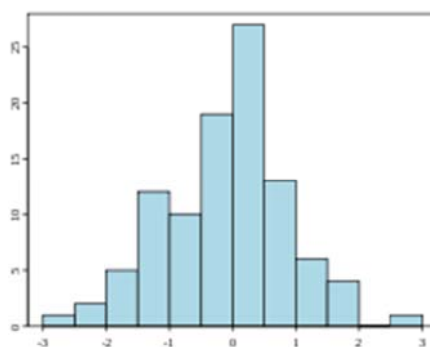


Рис. 8.12. Приклад гістограми

Гістограма частот (відносних частот) – сідчаста фігура, що складається зі стикованих прямокутників, основами яких слугують часткові інтервали завдовжки  $h$ , а висоти дорівнюють відповідним відношенням  $n_i / h$  ( $w_i / h$ ), які

називаються щільностями частот (щільностями відносних частот). Іншими словами, висота кожного стовбця вказує на частоту появи значень параметрів у вибраному діапазоні, а кількість стовпчиків – на кількість вибраних діапазонів. Очевидно, що площа гістограми частот (відносних частот – частостей) дорівнює обсягу вибірки  $n$ .

### 5. Діаграма Парето. Італійський економіст **Вільфредо Парето** (1848-1923)



узагальнюючи статистичні дані, показав, що 80% власності в Італії належить 20% її населення та розробив логарифмічну модель цього неоднорідного розподілу (див. фото). У 1905 р. американський математик і економіст Макс Отто Лоренц (1876-1959) представив графічну ілюстрацію цього феномену. Той статистичний факт, що 80% власності Італії належить 20% її населення, набула статусу закономірності, яка названа **принципом Парето** (правилом малої кількості причин або правило 80/20), який стверджує, що для багатьох явищ 80 відсотків наслідків спричинені 20 відсотками

причин (рис. 8.13).

Правило 80/20 знайшло застосування у багатьох галузях. Наприклад, 20% покупців дають 80% прибутків, 20% відсотків водіїв створюють 80% аварій, 20% злочинців скоюють 80% злочинів і т. п.



Рис. 8.13. Правило 80 / 20

До **наслідків принципу Парето** відносяться такі:

- ❖ Більша частина вкладених зусиль не спричиняє бажаного результату.
- ❖ Не потрібно витратити весь час та всі ресурси для отримання бажаного результату, натомість потрібно знайти “ключові завдання”, куди вкласти 20% зусиль, щоб отримати 80 %.
- ❖ Досягнення бажаних результатів спричинене незначною частиною об’єктивних факторів, суб’єктивних чинників або дій, так само, як і більшість успішних справ чи невдач обумовлені незначною дією конструктивних чи деструктивних факторів або / і чинників (наприклад, фактор, який є у народному прислів’ї “*Ложка дьогтю в бочці меду*”, що означає невелике зло, недолік, що псує навіть найкращу ситуацію).
- ❖ Завжди треба пам’ятати про вплив (дію) **латентних (прихованих) факторів і чинників** на діяльність індивіда, що може призвести до результату, який відрізняється від бажаного (цільового, логічного).

Джуран застосував діаграму Лоренца у сфері контролю якості для класифікації проблем на нечисленні (невеликі кількісно), але істотно важливі, та

численні (великі кількісно, чималі), але не суттєві. Він назвав цей метод *аналізом Парето*.

Джуран виявив на практиці, що переважна кількість дефектів виникають через відносно невелику кількість причин. Ілюстрацією цього була діаграма Парето, яка часто використовується для аналізу причин браку.

Таким чином, *діаграма Парето* – графічне відображення закону Парето, а саме кумулятивної залежності розподілу певних результатів від великої вибірки причин (рис. 8.14). Зазначимо, що *кумуляція* (від лат. *cumulatio* – скупчення, нагромадження, підсилення, концентрація) – накопичення речовини, фізичного поля, енергії, інформації (матеріальна кумуляція), ресурсів або спричинених ними ефектів (функціональна кумуляція). Наприклад, залежність ресурсів (накопиченого багатства, результатів голосування тощо) від кількості населення (активності учасників, впливу факторів і т. ін.).

**ДВ**→ Перед тим, як будувати діаграму Парето, потрібно здійснити класифікацію проблем за відповідними факторами (брак, збої в роботі обладнання, аварійні ситуації, порушення технологічного режиму, недотримання нормативних трудових операцій виконавцями і т. ін.). Далі здійснюється збір й аналіз статистичної інформації за кожним фактором, а також ранжування факторів за впливом на вирішення проблем.

На графіку по осі абсцис відкладають рівні відрізки, які відповідають даним факторам, а по осі ординат – величину вкладу кожного фактору в проблему. Починають з найбільш “вагомий” фактора і закінчують відносно найменш “вагомим” фактором. Тому висоти стовпчиків, які відповідають інтенсивності факторів, зменшується зліва направо. Отримуємо діаграму Парето. Послідовно складаючи висоти стовпчиків один з одним будуємо *кумулятивну криву* (для дискретного ряду) – на осі абсцис відкладаються значення варійованої ознаки, а на осі ординат поміщаються накопичені частоти або частоти. Відповідно до закону великих чисел кумулятивна крива апроксимує інтегральну функцію розподілу ймовірностей. ◀

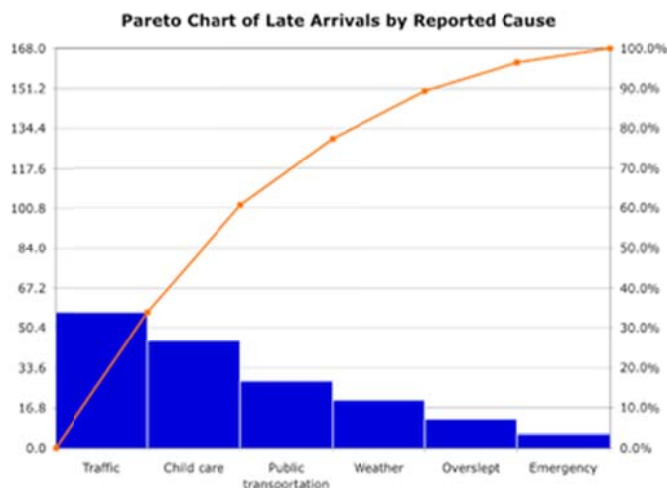


Рис. 8.14. Діаграма Парето і кумулятивна крива (якщо вісь абсцис характеризують види браку у вигляді діаграм, то число випадків браку фіксується віссю ординат – маємо кумулятивну криву за видами браку)

**6. Стратифікація.** Поняття “стратифікація” означає розміщення чого-небудь шарами, шаруватість, або розшарування чогось, залежно від неоднаковості якісних та кількісних ознак. У різних науках цей термін має свої смислові значення.

У статистиці стратифікація є методом групування статистичних даних за частотою попадання їх у певний заздалегідь заданий інтервал.

У теорії якості стратифікація (розшарування) – інструмент контролю якості, що дозволяє зробити селекцію даних у відповідності з різними факторами. Процес стратифікації дозволяє сортувати дані відповідно до певних критеріїв або змінних, а результати зображати у вигляді діаграм і графіків. Змінні стратифікації – це різні групи чи категорії з загальними характеристиками.

Стратифікація виступає методичною основою для таких інструментів управління якістю, як аналіз Парето чи діаграми розсіювання.

**7. Діаграма розсіювання.** Діаграма розсіювання має також іншу назву – «*точкова діаграма*» (від англ. *scatter plot*) – математична діаграма, що зображає значення двох змінних у вигляді точок на декартовій площині. Вказані діаграми є наслідком статистичного зв'язку між випадковими величинами  $X$  і  $Y$ . На відміну від *функціонального зв'язку* між величинами, який забезпечує однозначну відповідність між значенням аргументу  $x$  і значенням функції  $y(x)$ , статистичний зв'язок є неоднозначний тому, що на випадкові величини впливає багато випадкових об'єктивних факторів і суб'єктивних чинників.

Суть статистичного зв'язку в тому, що *зміна значень однієї випадкової величини  $X$  спричиняє до зміни закону розподілу іншої величини  $Y$ .*

Формалізуємо вище сказане. Нехай між випадковими величинами  $X$  і  $Y$  існує стохастична залежність, тобто змінна  $Y$  залежить від змінної  $X$ . На відміну від функціональної залежності, яка є “жорстка”, “строго визначена”, “детермінована”, *статистична залежність* є “м'яка”, “імовірнісна”, “не визначена строго”.

При  $X = x$  змінна  $Y$  через її стохастичну залежність від  $X$  може набувати будь-яких значень з деякої множини  $y_1, y_2, \dots, y_n$  – області визначення змінної  $Y$ . Очевидно, що середнє цієї множини набутих значень – групове генеральне середнє змінної  $Y$  при  $X = x$ , або *умовне математичне сподівання* випадкової величини  $Y$ , що обчислено за умови  $X = x$ . Вказане математичне сподівання позначимо, як  $M(Y | X = x) \equiv \mu_{y/x}$ .

Таким чином, якщо між випадковими величинами  $X$  і  $Y$  існує стохастична залежність, то це формально означає, що при зміні  $x$  змінюється умовне математичне сподівання  $\mu_{y/x}$  випадкової величини  $Y$ . При цьому, має місце *кореляційна залежність* величини  $Y$  від  $X$ . Іншими словами, вираз

$$\mu_{y/x} = \varphi(x) \quad (8.76)$$

має назву *рівняння регресії*, а  $\varphi(X)$  – *функція регресії*, їхній графік – *лінія регресії*. Можна довести, що рівняння регресії  $Y$  на  $X$  має вигляд:

$$\mu_{y/x} = \varphi(x) = \mu_y + \rho_{xy} \cdot \frac{\sigma_y}{\sigma_x} \cdot (x - \mu_x), \quad (8.77)$$

де  $\mu_y$  і  $\mu_x$  – математичні сподівання випадкових величин  $Y$  і  $X$ ;  $\sigma_y$  і  $\sigma_x$  – середні квадратичні відхилення випадкових величин  $Y$  і  $X$ ;  $\rho_{xy}$  – коефіцієнт кореляції лінійної моделі регресії.

*Діаграми розсіювання* використовуються для демонстрації наявності або відсутності кореляції між двома змінними  $Y$  і  $X$ , які формалізують два різні фактори (параметри). Незалежна змінна  $X$  (керуючий параметр) відкладається по

горизонтальній осі, а залежна змінна  $Y$  – по вертикальній. Ступінь та характер кореляції двох змінних може бути різним.

Завжди виконується наступна нерівність  $|\rho(X,Y)| \leq 1$ , причому у всіх практичних випадках  $\rho(X,Y) = \pm 1$  тоді і лише тоді, коли маємо *лінійну регресію* :

$$Y = aX + b, \quad (8.78)$$

де  $a$  та  $b$  – сталі (константи).

**Кореляція** (від лат. *correlation* – співвідношення) є залежністю двох випадкових величин  $X$  і  $Y$ . Математичною мірою кореляції двох випадкових величин слугує *коефіцієнт кореляції*  $\rho(X,Y)$ :

$$\rho(X,Y) = \frac{\text{cov}(X,Y)}{\sigma_x \cdot \sigma_y} = \frac{E((X - \mu_x) \cdot (Y - \mu_y))}{\sigma_x \cdot \sigma_y}, \quad (8.79)$$

де:  $\mu_x$  і  $\mu_y$  – математичні сподівання випадкових величин  $X$  і  $Y$ ;  $\text{cov}(X,Y)$  – коваріація величин  $X$  і  $Y$ ;  $\sigma_x$  і  $\sigma_y$  – стандартне відхилення величин  $X$  і  $Y$ ;  $E$  – оператор математичного сподівання.

Діаграма розсіювання (точкова діаграма) будується як графік залежності між двома параметрами. Цей графік дає можливість проаналізувати залежність між факторами впливу, тобто між причиною і наслідками (характеристиками).

Можливі такі випадки:

- а)  $\rho(X,Y) > 0$  – позитивна лінійна кореляція (*зростання*).  
Приклад: Обсяг інвестицій  $X$  і темпи економічного зростання підприємства  $Y$  (див. рис. 8.15, а);
- б)  $\rho(X,Y) < 0$  – негативна лінійна кореляція (*спадання*). Приклад: Плинність персоналу  $X$  і ефективність виробничого процесу  $Y$  (див. рис. 8.15, б);
- в)  $\rho(X,Y) = 0$  – відсутність статистичного зв'язку, тобто  $X$  і  $Y$  є незалежні випадкові величини (див. рис. 8.15, в).

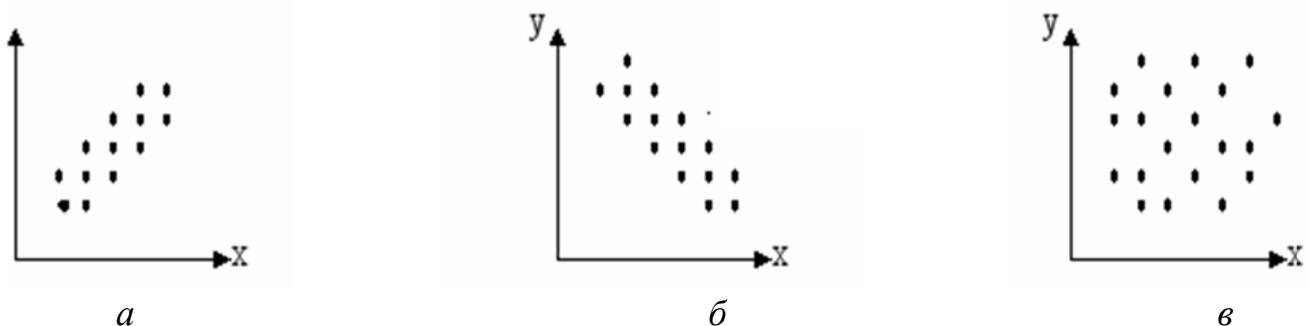


Рис. 8.15. Діаграма розсіювання: а – позитивний взаємозв'язок ( $\rho(X,Y) > 0$ ); б – негативний взаємозв'язок ( $\rho(X,Y) < 0$ ); в – немає взаємозв'язку ( $\rho(X,Y) = 0$ )

Наявність кореляційної залежності між двома параметрами, тобто впливу причинного фактору на характеристику, дозволяє здійснювати *контроль над процесом, а значить, і контроль над якістю*.

Зауважимо, що твердження про залежність між  $X$  і  $Y$  витікає з нерівності

$$\rho(X, Y) \neq 0. \quad (8.80)$$

Зворотне твердження несправедливо: із рівності  $\rho(X, Y) = 0$  не випливає твердження про незалежність  $X$  і  $Y$ . Це означає, що крім кореляційного зв'язку існують інші види зв'язку між випадковими величинами  $X$  і  $Y$ . Коефіцієнт кореляції  $\rho(X, Y)$  може дорівнювати нулю навіть якщо  $Y$  є функцією від  $X$ .

---

## 8.6. Сім нових інструментів управління якістю

---

Факт і фактор. Якісні фактори. Історичний розвиток підходів і методів в сфері управління якістю. Аналіз нових інструментів управління якістю: діаграма спорідненості, діаграма взаємозв'язків, деревоподібна (системна) діаграма, матрична діаграма, стрілочна діаграма, діаграма процесу здійснення програми, матриця пріоритетів.

---

Розглянуті в розділі 6 класичні статистичні методи управління якістю відповідають одному із принципів загального менеджменту якості (TQM) – *під час прийняття рішень про якість опиратися на факти*.

**Факт** (від лат. *factum* — зроблене) – *поняття, що означає подію, тобто те, що справді відбулося*. Це поняття має виражену суб'єкт-об'єктну природу, дихотомія якого визначається як онтологічним аспектом (опис справжньої події), так і логіко-гносеологічним аспектом (семантика події, її узагальнення з точки зору суб'єкта пізнання). Факт у контексті класичної раціональності – елемент емпіричного знання, що формується за допомогою ряду складних пізнавальних операцій.

На відміну від буденних фактів, наукові факти завжди засновані на численних емпіричних спостереженнях, експериментах, досліджах.

Факт виражає подію, явище, процес, випадок, ситуацію, стан системи, реальність. Момент, суттєву обставину в якому-небудь процесі, явищі, а також в якій-небудь ситуації, події визначає **фактор** (від. лат. *factor* – що робить, що виробляє) – *рушійна сила будь-якого процесу, явища*.

Фактори мають форму ознак, характеристик, змінних, параметрів, показників, цілей і критеріїв.

Фактори можуть поділятися на дискретні та неперервні. Також як і факти, фактори можуть бути якісні та кількісні. Як показали С.Д. Бешелев і Ф.Г. Гурвич [19], відмітною рисою факторів є те, що вони задаються (встановлюються) за певною шкалою: номінальною, порядковою, інтервальною, шкалою відношень.

Теорія якості оперує фактами і факторами, які є як якісні, так і кількісні. Проте переважна більшість фактів і факторів мають вербальну форму, яку важко або неможливо квантифікувати в числову форму вираження (подання). Облік цих фактів (факторів) становить приблизно 5% проблем в області якості.

Вказані проблеми виникають в основному в галузі управління процесами, системами, колективами, і при їх вирішенні поряд зі статистичними методами необхідно використовувати результати операційного аналізу, теорії оптимізації, психології та ін. Зважаючи на це, союз японських вчених й інженерів (Union of



Japanese Scientists and Engineers – JUSE) розробив дуже потужний і корисний набір інструментів, що дозволяють полегшити завдання управління якістю при аналізі зазначених факторів. Ці інструменти отримали назву “Сім інструментів управління” або “Сім нових інструментів контролю якості” і були зібрані JUSE разом тільки у 1979 році. Цим інструментам була присвячена книга професора С. Мізуно, яка була переведена на англійську мову у 1988 році.

До нових семи інструментів управління якістю відносяться:

- 1) діаграма спорідненості (affinity diagram);
- 2) діаграма (графік) взаємозв'язків (залежностей) (interrelationship diagram);
- 3) деревоподібна (системна) діаграма (дерево рішень) (tree diagram);
- 4) матрична діаграма, або таблиця якості (matrix diagram or quality table);
- 5) стрілочна діаграма (direction diagram);
- 6) діаграма процесу здійснення програми (планування здійснення процесу) (Process Decision Program Chart – PDPC);
- 7) матриця пріоритетів (аналіз матричних даних) (matrix data analysis).

Зазвичай для збору вихідних даних для подальшого застосування інструментів управління якістю використовується **метод мозкової атаки** (мозкового штурму), який вперше з'явився в 1930 році, а описаний він був значно пізніше – у 1953 р. Автор даної концепції – американський дослідник Алекс Осборн.

Опис цього методу є в різних книгах з технічної творчості, ФВА тощо (зокрема, в [41; 165]). Ми же тільки зауважимо, що перевагою методу є простота, яка поєднується з потенційно великими можливостями з висунення нових ідей, а сфера застосування – пошук рішень в недостатньо дослідженій області знань, виявлення нових напрямів вирішення проблеми.

Коротко охарактеризуємо вказані інструменти управління якістю (подробіці є в джерелах [14; 94; 196; 212]).

**1. Діаграма спорідненості, або  $K_j$ -метод** (автор – японський вчений *Джиро Кавакіта*). Діаграма спорідненості є інструмент, який дозволяє виявити порушення процесу чи можливості його вдосконалення шляхом поєднання споріднених усних даних.

Цей метод звично застосовують слідом за мозковою атакою для того, щоб творчим чином співвідносити ті ідеї, які були висловлені. При цьому, велика кількість ідей, думок, інтересів об'єднується та зводиться до декількох груп за рахунок природних (асоціативних) зв'язків між усними даними.

На рис. 8.16 показано, що усні дані асоціативно об'єднуються в три групи (А, Б, В). Роль загального заголовку для А, Б і В відіграє “Помилки при друкуванні тексту за допомогою клавіатури персонального комп'ютера (ПК)”.

У групу А входять причини ( $x_i, i = \overline{1, n}$ ), виражені вербально та пов'язані з самим ПК (строк експлуатації, періодичність обслуговування та ремонту, якість програмного забезпечення тощо).

У групу Б входять причини ( $y_j, j = \overline{1, m}$ ), виражені вербально та пов'язані з умовами роботи (освітленість робочого місця, яскравість монітору, рівень шуму чи звуку тощо).



У групу В входять причини  $(z_k, k = \overline{1, q})$ , виражені вербально та пов'язані зі станом самого користувача (розуміння тексту, ритм роботи, досвід, ступінь зосередження уваги, обсяг переробки інформації, ступінь стресових впливів тощо) [114].

**2. Діаграма зв'язків** (граф взаємозалежності). Діаграма зв'язків – інструмент, що дозволяє виявити логічні зв'язки між основною ідеєю, проблемою або різноманітними даними.

Основним завданням діаграми зв'язків є встановлення відповідності основних причин порушення процесу, виявлених за допомогою діаграми спорідненості, тим проблемам, що потребують вирішення.

За логікою побудови ця діаграма схожа на причинно-наслідкову діаграму Ісікави.

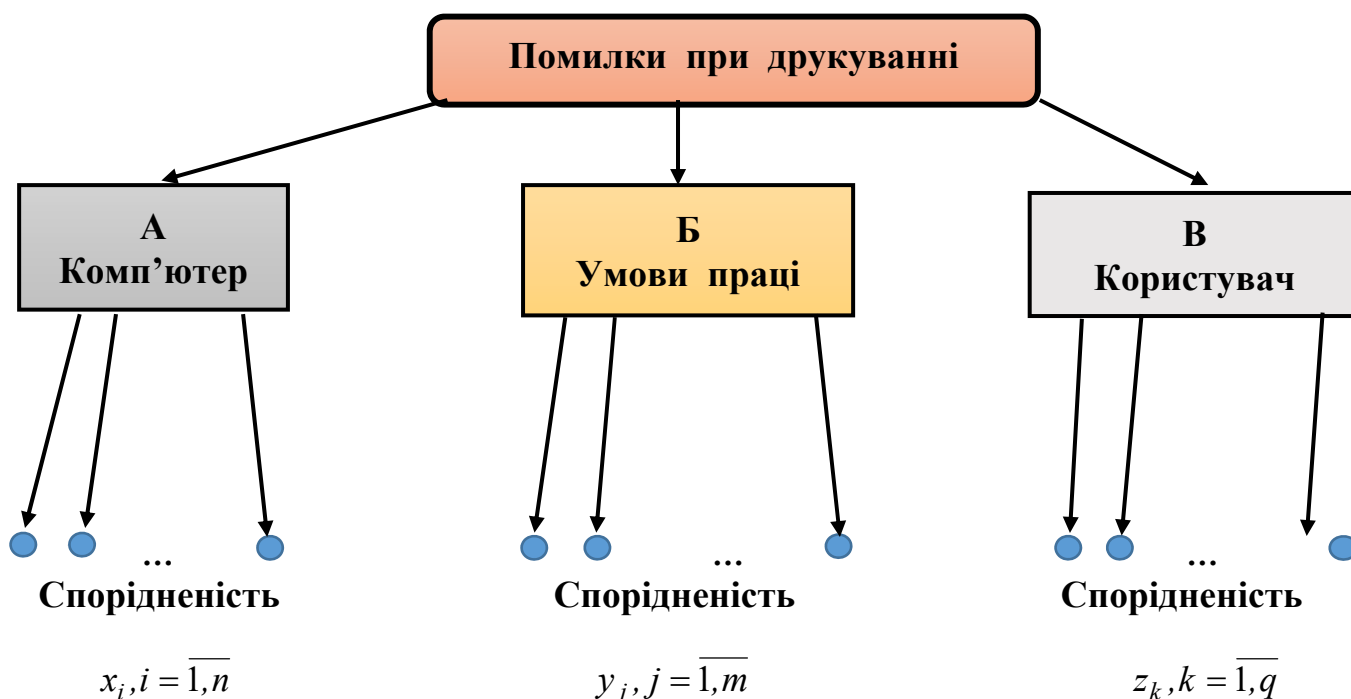


Рис. 8.16. Принцип побудови діаграми спорідненості

В основі діаграми лежить приблизно той же підхід, що і при побудові діаграми спорідненості. Береться центральна ідея, питання або проблема і визначаються ланки, які пов'язують окремі фактори (чинники), що стосуються питання або проблеми (рис. 8.17).

Таким чином, діаграму зв'язків можна побудувати на тих ідеях, які з'являються при побудові діаграми спорідненості, намагаючись знайти ті ланки, які ведуть до критичного результату. Діаграма зв'язків є головним чином логічним інструментом, протипоставленим діаграмі спорідненості, яка сама по собі була творча.

**ДВ** → Розглянемо приклади ситуацій, коли діаграма може бути корисною:

1. Коли тема (об'єкт ПГ) настільки складна (складний), що зв'язки між різними ідеями не можуть бути встановлені за допомогою звичайного обговорення.
2. Коли тимчасова послідовність, згідно з якою здійснюються кроки, є вирішальною.
3. Коли є підозра, що проблема, порушена в питанні, є виключно симптомом більш фундаментальної та непорушеної ще проблеми.

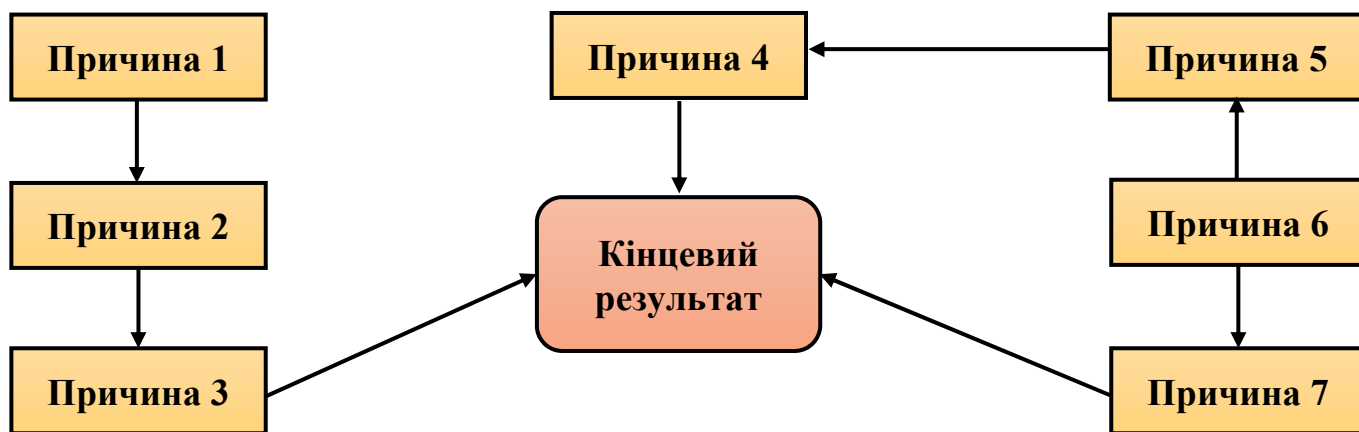


Рис. 8.17. Принцип побудови діаграми зв'язків

На рис. 8.18 наведена діаграма зв'язків відповідно до поставленого питання: “Чому з'являються помилки при наборі тексту на клавіатурі ПК?”. ◀

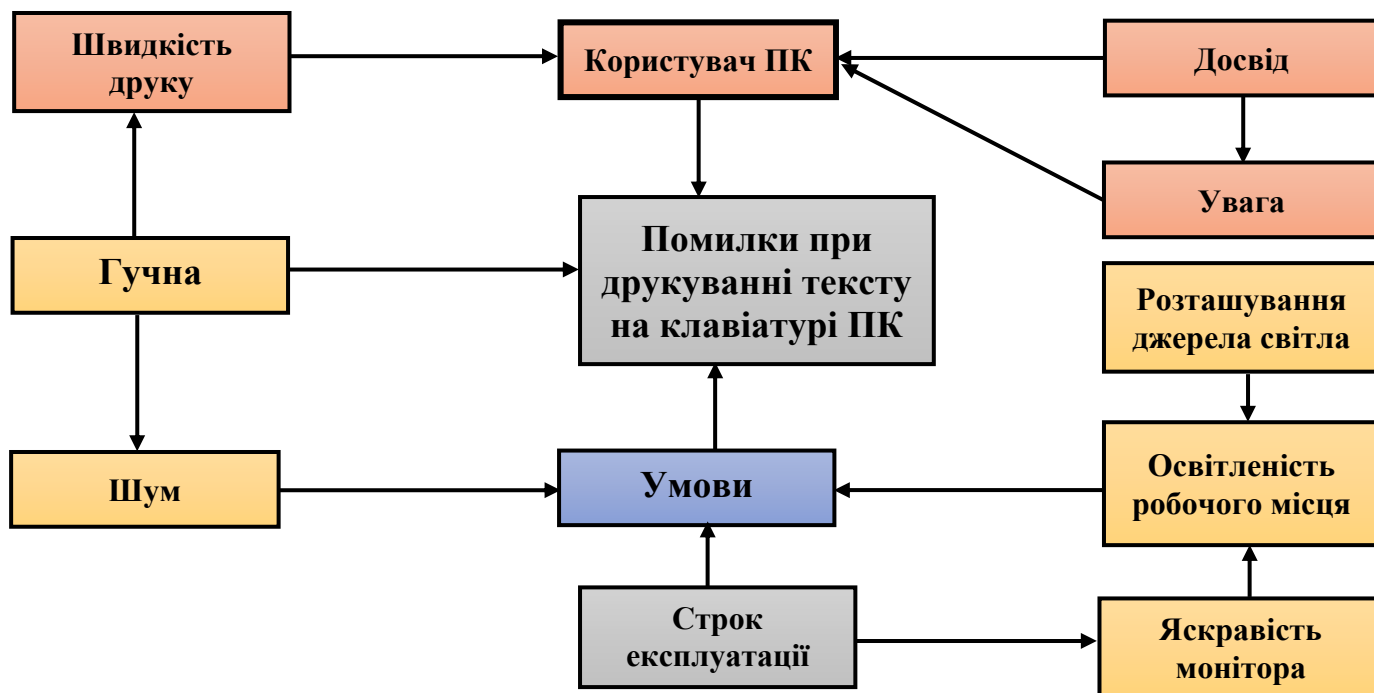


Рис. 8.18. Діаграма зв'язків: помилки при наборі тексту на клавіатурі ПК

**3. Деревоподібна діаграма (дерево рішень).** Деревоподібна діаграма, або систематична діаграма, – інструмент, який забезпечує шлях вирішення суттєвої проблеми, центральної ідеї, або задоволення потреб споживачів, представлених на різних рівнях.

На відміну від діаграм спорідненості та діаграм зв'язків, цей інструмент є більш цілеспрямованим.

Деревоподібна діаграма будується у вигляді багатоступінчатої структури, елементами якої є різні засоби і способи вирішення проблеми.

Деревоподібну діаграму застосовують у таких випадках:

- ❖ Коли необхідно дослідити всі можливі причини або аспекти, що стосуються досліджуваного об'єкта ПГ або проблеми.
- ❖ Коли короткострокові цілі повинні бути досягнуті раніше результатів всієї роботи, тобто на етапі проектування виробу.
- ❖ Коли нечітко сформовані побажання споживача щодо продукту перетворюються у встановлені потреби, а потім в технічні умови для даної продукції.

Принцип побудови деревоподібної діаграми зображений на рис. 8.19.

**4. Матрична діаграма (таблиця якості, матриця зв'язків).** Цей інструмент дозволяє виявити різноманітні логічні зв'язки між основною ідеєю, проблемою або різними даними.

Матрична діаграма служить для організації величезної кількості даних, так що логічні зв'язки між різними елементами можуть бути графічно проілюстровані.

До основних цілей матричної діаграми відносяться такі:

- зображення контуру зв'язків і кореляцій між завданнями, функціями та характеристиками з виділенням їх відносної важливості;

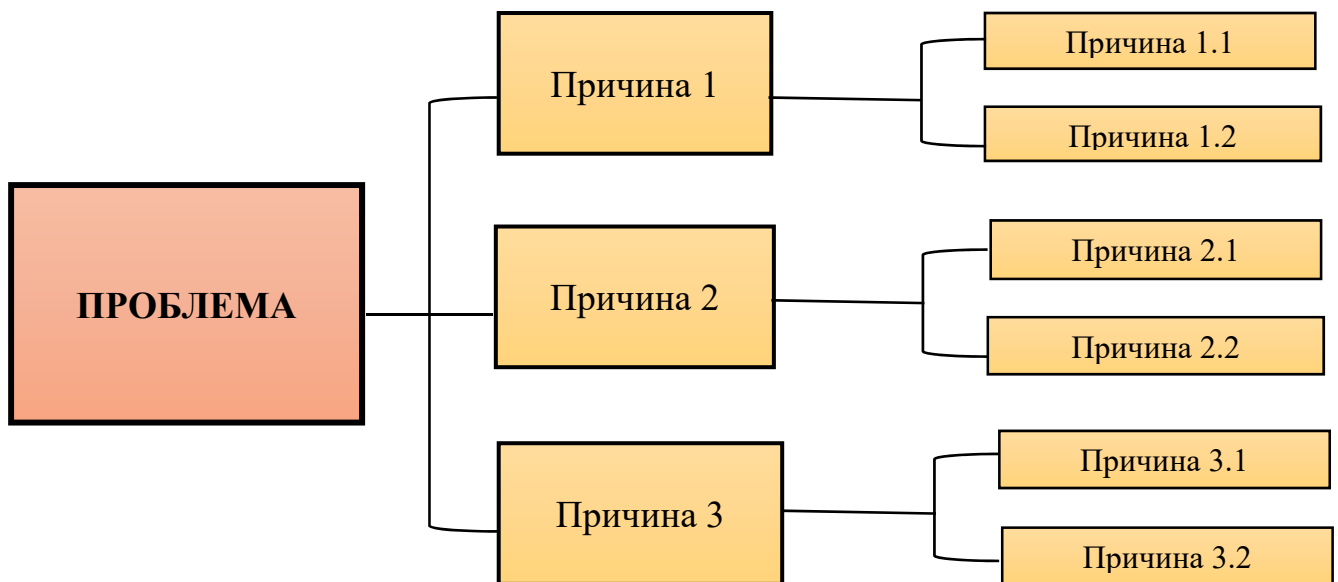


Рис. 8. 19. Принцип побудови деревоподібної діаграми

- показ відповідності певних факторів і явищ, різних причин їх появи і засобів усунення їх наслідків;
- аналіз ступеня залежності цих факторів від причин їх виникнення і заходів по їх усуненню;
- показати наявність і тісноту зв'язків компонентів, наприклад причини (*cause*) С з компонентами фактора (*factor*) F (цей зв'язок зображується за допомогою спеціальних символів, що характеризують ступінь тісноти цих зв'язків).

Матрична діаграма показує відповідність певних факторів (явищ), а також ступінь залежності цих факторів від причин виникнення, що є підґрунтям до розробки заходів їх посилення, розвитку або усунення (табл. 8. 3).

Матрична діаграма зв'язків компонентів  $C_i, i = \overline{1,8}$  двох однотипних виробничих підприємств А і Б, розвиток яких спрямований на досягнення цілей TQM

А	Б							
	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>6</sub>	C <sub>7</sub>	C <sub>8</sub>
C <sub>1</sub> (організація)	○							
C <sub>2</sub> (співробітники)		○						
C <sub>3</sub> (техніка)			○					
C <sub>4</sub> (стратегії)				○				
C <sub>5</sub> (методи)					○			
C <sub>6</sub> (інструментарій)						○		
C <sub>7</sub> (якість продукції)							○	
C <sub>8</sub> (продуктивність)								○

Примітка 1. Умовні позначення: ● – сильний зв'язок; ○ – середній зв'язок; ○ – слабкий зв'язок.

Таким чином, зв'язки між однаковими компонентами систем формують діагональну матрицю. Якщо ж порівнювати дві системи, які мають компоненти різного функціонального, структурного, цільового, і т. п. призначення, то зв'язки між ними будуть розкидані по всьому полю матриці. Це ж відноситься і до **побудови матриці**, яка дозволяє аналізувати можливості технічної системи у зв'язку з потребами споживача (користувача). ДВ→ Як приклад, наведемо залежність технічних характеристик і вимог споживача (користувача) на прикладі мобільного телефону GSM 900/1800 Nokia 6210 (див. рис. 8.20).

Таким чином, матрична діаграма показує відповідність певних факторів (назви рядків) різним причинам їх появи (назви стовбців) і заходам усунення їх наслідків. Окрім цього, визначається ступінь залежності факторів (явищ) від причин виникнення і заходів їх усунення.

**5. Стрілочна діаграма.** Якщо виявлені проблеми, що вимагають свого вирішення, і визначені необхідні заходи, терміни та етапи їх здійснення, тобто після складання перших чотирьох діаграм, то приступають до побудови стрілочної діаграми.

ДВ→ **Зауваження.** У деяких джерелах замість словосполучення “стрілочна діаграма” використовують термін “векторна діаграма”(наприклад, в [94]). На наш погляд, така заміна некоректна, тому що вектор характеризується модулем (довжиною), напрямком і точкою докладання. Остання характеристика у вказаній діаграмі не застосовується. ◀

Стрілочна діаграма – інструмент, що дозволяє спланувати оптимальні терміни виконання всіх необхідних робіт для якнайшвидшої й успішної реалізації поставленої мети.

Стрілочна діаграма являє собою діаграму ходу проведення (виконання) робіт, з якої повинні бути наочно видно порядок і терміни проведення різних етапів день у день. Ця діаграма дає можливість скласти оптимальний план виконання всієї роботи та окремих її етапів. Цей інструмент широко застосовується не тільки при плануванні, а й для подальшого контролю за ходом виконання запланованих робіт. Особливо широко цей інструмент застосовується при розробці різних проектів та плануванні виробництва. На практиці стрілочна діаграма використовується у вигляді діаграми Ганта (Gantt), або у вигляді мережевого графа.

Вимоги споживача (користувача) до мобільного телефону (МТ), <b>ЩО?</b>	Технічні характеристики мобільного (сотового) телефону GSM 900/1800 Nokia 6210, <b>ЯК?</b>																
	Дисплей			Сигнали виклику			Функції пам'яті			Бата-рея			Передавач		Вбудований модем		
	Кількість рядків дисплея	Кількість рівнів індикації	Анімаційна графіка	Кількість рівнів гучності	Встановлені мелодії (кількість)	Власні мелодії (кількість)	Кількість номерів на карті SIM	Кількість номерів у пам'яті МТ	Кількість голосових міток	Пам'ять на текстові повідомлення	Робота в режимі чекання	Робота в режимі розмови	Ємність батареї	Мак потужність передавача	Коефіцієнт підсилення антени	Швидкість передачі даних	Швидкість завантаження даних
Зручність подання інформації	○		○						○								
Індикатори	○	○														○	
Графічний дисплей	○	○	○							○	○						
Регулювання гучності				○													
Вибір мелодій					○	○											
Записна книжка	○					○		○	○								
Органайзер	○						○		○								
Пам'ять на текстові повідомлення						○			○								
Голосове пабирання								○									
Тривалість роботи в режимі розмови/чекання										○	○	○	○	○			
Добрий прийом										○	○		○	○			
Робота в декількох діапазонах зв'язку																	
Розширені можливості бездротового зв'язку							○	○							○	○	

Рис. 8.20. Матриця зв'язків вимог споживача (користувача) і технічних характеристик для мобільного телефону Nokia 6210 [14]

Учень знаменитого Тейлора, американець **Генри Лоуренс Гант** (1861-1919) на початку ХХ ст. вважався вченим, який перший у 1910 р. “графічно відобразив управління”. Гант увів в теорію управління діаграми планування часу й управління роботою (“система планових графіків”). У цих діаграмах робота була розписана і розбита за часом через окремі операції до кінця її виконання. Прикладом діаграми Ганта для послідовності виробничих операцій наведений на рис. 8.21.

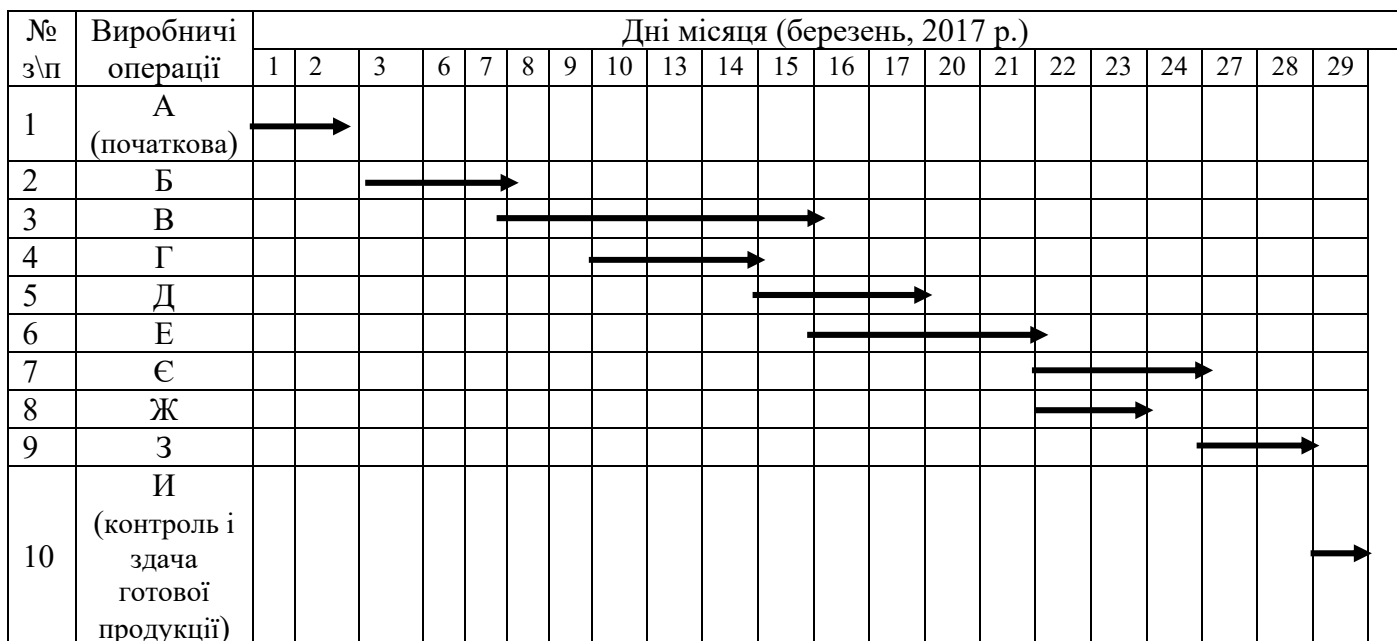


Рис. 8.21. Діаграма Ганта

П→ Діаграму Ганта можна замінити на еквівалентну *мережеву модель*, подану як орієнтований кінцевий граф без контурів, що відображає відношення передування між роботами (виробничими операціями), яким можна поставити у відповідність вершини графа, а дуги (орієнтовані ребра) визначають часові переходи між виробничими операціями (рис. 8.22). ◀

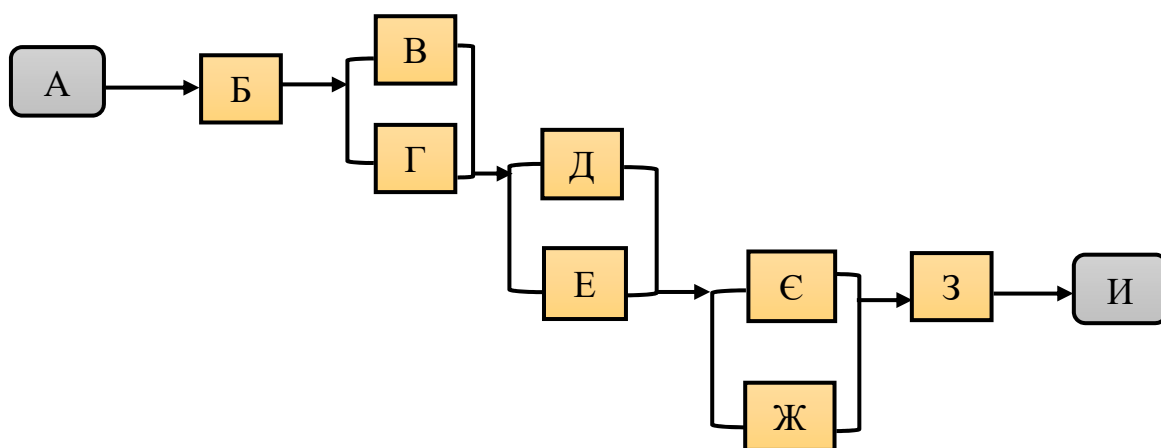


Рис. 8.22. Мережевий граф послідовності виробничих операцій

Таким чином, діаграми використовувалися для візуального уявлення не стільки кількості, скільки часу. Це дозволяло менеджеру успішно стежити за виконанням ходу робіт і вносити, в разі потреби, свої корективи. “Принципи, на основі яких існує діаграмний метод, – писав Гант, – прості для розуміння”. Діаграми Ганта вважають прообразами графіків мережного планування.

За допомогою діаграм Ганта можна також планувати терміни надання послуги в сфері державної реєстрації юридичних осіб, відобразити хід і терміни проведення різних етапів виконання робіт. Це дає можливість скласти оптимальний план виконання всієї роботи та окремих її етапів.

Нагадаємо читачам означення трьох вище розглянутих понять.

**Виробнича операція** – це частина виробничого процесу, що виконується стосовно певного предмета праці одним робітником або групою робітників на одному робочому місці.

**Строком** є певний *період* у часі, з перебігом якого пов'язана дія чи подія, яка має юридичне значення.

**Терміном** є певний *момент* у часі, з настанням якого пов'язана дія чи подія, яка має юридичне значення.

**6. Діаграма процесу здійснення програми (Process Decision Program Chart, PDPC).**

PDPC – *інструмент для оцінювання термінів і доцільності проведення робіт з виконання програми відповідно до стрілочної діаграми з метою їх коригування в ході виконання.*

Діаграма процесу здійснення відображає послідовність дій та рішень при переході від постановки завдання до отримання бажаного результату. Вона може використовуватись для оцінювання термінів та доцільності проведення робіт з виконання програми у відповідності до стрілочної діаграми Ганта.

Можна виділити два основних випадки застосування PDPC:

1. Коли розробляється нова програма досягнення необхідного результату. При цьому PDPC забезпечує можливість попереднього планування і відстеження послідовності дій, аналізуючи проблеми, які можуть виникнути в ході виконання роботи.
2. Коли можливі “катастрофи” при плануванні процесу. При цьому PDPC допомагає уникнути “планування катастроф”, висвітлюючи послідовність дій. У результаті ретельного аналізу цих дій небажаний результат прогнозується, що дозволяє заздалегідь здійснити відповідні коригування.

Переважно PDPC застосовується при розв’язанні складних проблем у галузі наукових розробок, масового виробництва, при одержанні великих за обсягом замовлень тощо (подробіці читач може почерпнути в джерелі [14]).

**7. Матриця пріоритетів (аналіз матричних даних).** При побудові матричних діаграм виникає значна кількість числових даних. Матриця пріоритетів є інструментом для обробки вказаних даних з метою визначення пріоритетів серед даних. При цьому використовуються статистичні методи обробки даних.

Узагальнюючи, об’єднаємо розглянуті діаграми (рис. 8.23).

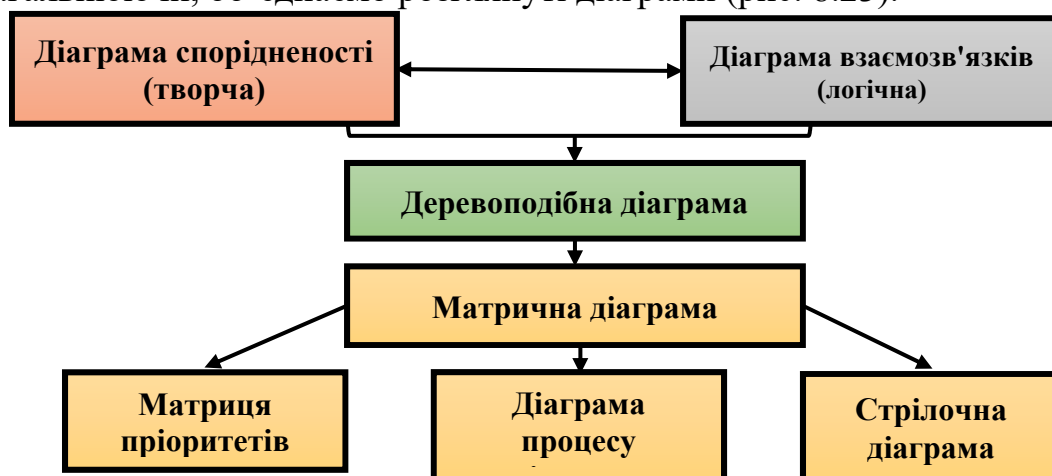


Рис. 8.23. Сім нових інструментів якості

---

## 8.7. Розгортання функцій якості

---

Технологія розгортання функції якості. Концепція QFD. Основні принципи QFD. Галузі, де поширене застосування QFD. Основні переваги використання QFD. Модель “профілю якості” Н. Кано. Основні ключові етапи (елементи) процесу розгортання функції якості (QFD). Складові “Будинку якості”. Чотири етапи відстеження “голосу споживача”. Бенчмаркінг й управління якістю.

---

**ДВ→** Цей пункт книги присвячений сучасним системам менеджменту якості і методам підвищення ефективності організацій на основі поліпшення якості. Обмеженість обсягу книги не дозволяє в подробицях (детально) викласти великий за обсягом зміст, тому ми, користуючись методологічним принципом *бритва Оккама*, обмежимося невеликим обсягом, а для допитливих читачів, які прагнуть значно більше знати, рекомендуємо джерело: [Системы, методы и инструменты менеджмента качества: учебное пособие / Кане М. М., Иванов Б. В., Корешков В. Н., Схиртладзе А. Г. – СПб.: Питер, 2008. – 560 с.].

Зазначимо, що бритва Оккама – методологічний принцип, який увів англійський монах-францисканець Вільям Оккам (1285-1349), стверджуючи, що “*Не слід множити суще без необхідності*”. Цей принцип нині формує базис методологічного редукціонізму (згортання обсягу, зменшення різноманітності, спрощення змісту, скасування нерелевантного матеріалу). ◀

Сучасна японська концепція *розгортання функції якості* (*Quality Function Deployment, QFD*) зазвичай подається як методологія (сукупність методів дослідження), а у ряді випадків зводиться до рівня методу. У деяких працях концепція QFD має назву “структурування функції якості”.

*Розгортання функції якості (QFD) – це напрямок розвитку побажань споживача на основі функцій і операцій діяльності підприємства по забезпеченню якості на кожному етапі життєвого циклу новостворюваного продукту.* QFD має на меті забезпечення високої якості з перших стадій створення продукту.

Автори концепції японські вчені **Й. Акао, С. Мізуно, Я. Фурукава** та ін. Систематизований виклад положень концепції здійснений авторами в книзі “Розгортання функції якості: підхід до загального контролю якості”(1978 р.).

Концепція QFD розроблялася в Японії в період 1961-1966 рр. Спочатку апробація методології QFD була проведена на суднобудівних верфях японської фірми Міцубісі (Mitsubishi). Завдяки грандіозного успіху методологія дуже швидко поширилася по всій Японії, а з 1972 р. отримала широке застосування в автомобільній корпорації “Тойота” (Toyota). А через 10 років методологія завойовує і США. Сьогодні методологія QFD використовується як на Сході, так і на Заході. Застосування QFD, як гнучкого методу прийняття рішень, в разі скорочує цикл розробки виробів і прийняття його ринком.

### Основні принципи QFD:

**1.Орієнтація на споживача.** Одним з найголовніших переваг методології QFD є те, що орієнтацію на споживача вона проносить через усі, а не тільки і не стільки через самі початкові стадії життєвого циклу продукції. Навіть після попадання такої продукції на ринок її спочатку правильна спрямованість продовжує економити гроші виробнику за рахунок скорочення числа потрібних доробок (або віддалення їх у часі), які неминуче з'являються при “зіткненні” продукції та споживача. Для оцінювання вимог і задоволеності споживачів в



системах менеджменту якості широко використовується розглянута нами раніше модель якості Н. Кано [224].

**2. Міжфункціональний підхід.** Оскільки QFD, як і всі інші японські методи, передбачає командну діяльність, то його скоріше варто розглядати як науковий підхід, а не технічний прийом або інструмент. Основний ефект від використання QFD безпосередньо залежить від чіткої, добре спланованою і організованою роботи команди.

**3. Постійне поліпшення.** Втілена один раз методологія QFD вже налаштовує весь бізнес-процес організації так, що проектувальники продукції отримують інформацію зі зміненими вимогами споживачів раніше, ніж сам споживач встигає усвідомити необхідність такого вдосконалення. Це означає необхідність подальшого вдосконалення продукції.

Галузі, де поширене застосування QFD:

- автомобілебудування, машино- і приладобудування;
- електроніка;
- комп'ютерна техніка;
- виробництво паперу;
- будівельна індустрія;
- машинобудівна промисловість;
- електротехнічна промисловість;
- туристична галузь;
- страхування;
- фармацевтична промисловість;
- охорона здоров'я;
- вища освіта.

У даний час можливо і рекомендується використання методу в громадському управлінні та наданні державних послуг всіх видів, а також для всіх виробничих підприємств й організацій, що надають послуги.

Виділимо тільки **основні переваги використання QFD:**

- 1) дозволяє найбільш ефективним способом ідентифікувати очікування споживачів, виділяти серед них ключові (з точки зору досягнення успіху організації) вимоги і втілювати їх у продукцію;
- 2) забезпечує гарантії того, що споживачі візьмуть і скористаються новою (модернізованою) продукцією ще до того, як вона буде вироблена і поставлена на ринок;
- 3) різко скорочує час циклу “Дослідження ринку – проектування – виробництво – збут”;
- 4) знижує витрати на випуск дослідної партії продукції (на 20-40%), а витрати на попередню розробку продукції – більш ніж в 5 разів;
- 5) забезпечує збільшення ринкової частки завдяки більш ранньої появи на ринку продукції з більш високим рівнем якості.

*Розгортання функції якості залежить від розгортання побажань споживача.* Це означає, що повинна бути відповідність “уявлень” виробника про якість продукту і очікувань споживача. Через це виробник в процесі формування якості має насамперед чітко уявляти “профіль якості”.

Модель “профілю якості” був запропонований професором Н. Кано. Модель має три складові якості: базову, бажану, необхідну.

**Профіль базової (основної) якості** – сукупність параметрів якості продукту, наявність яких споживач вважає обов’язковими (“очевидними”), і тому, очікуючи їх, не вважає за потрібне попереджати про них попередньо виробника. Наприклад, безпека, надійність, екологічність продукції (послуги). Очевидно, що основні показники якості не визначають цінності продукту, але їх відсутність викликає негативну реакцію у споживача при його купівлі. Ігнорування базової якості виробником може викликати серйозні проблеми, аж до втрати клієнтури.

**Профіль необхідної якості** – сукупність показників якості, які є функціональними характеристиками продукту. Необхідна якість охоплює технічні та функціональні характеристики продукції (послуги), які є, в першу чергу, значущими для споживача і впливають на сприйману цінність продукції (послуги). Ці показники та характеристики показують, наскільки продукція відповідає задуманому, безпосередньо оцінюються споживачем і передусім впливають на його думку про цінність продукту.

Наприклад, споживач оцінює питоме споживання палива конкретним автомобілем (л / на 100 км), обсягом постійної та, насамперед, оперативної пам’яті, наявність видів опцій у смартфоні (*опція* – це елемент меню, один із запропонованих варіантів вибору, можливості вбудованої комп’ютерної програми). Необхідні характеристики використовуються виробником у рекламі. По потрібним характеристикам якості та їх сприйняттю споживачами можна судити, наскільки нова продукція або послуга відповідає очікуванням споживачів.

**Профіль бажаної якості** – сукупність параметрів якості, що викликають у споживача цінності продукту, на які він не сподівався, про наявність яких він міг тільки мріяти, не уявляючи можливості їх практичної реалізації (наприклад, послуга високошвидкісного Інтернету через телефон).

Бажана якість може виникати у споживача на рівні підсвідомості, про неї він навіть не підозрює. Тому виявлення такої якості в продукті викликає у споживача одночасно здивування, захоплення і задоволення. Характеристики бажаної якості високо цінуються споживачами і створюють великі конкурентні переваги для виробника на тривалий період.

У той же час, характеристики бажаної якості з’являються, як правило, в результаті проведення дорогих науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт, крупних інвестицій в створення й освоєння випуску принципово нової продукції або послуги.

Процес дослідження, а точніше, розгортання якості починається з аналізу множини запитів споживачів, яку поділяють на категорії, які отримали назву “*вимоги споживача*”.

Далі одержаним вимогам присвоюються “*ваги*” з врахуванням ступеня їх важливості для майбутніх власників.

Далі споживачів просять оцінити продукцію порівняно з продукцією основних конкурентів. Як результат, споживач виявляє ті характеристики продукції, які мають для нього найбільш важливе значення, тобто є *критичними*.

Інформація щодо вимог споживачів заноситься в матрицю, яку називають “*будинок якості*” (*house of quality*) – метод структуризації потреб і бажань споживача. У ньому відображається зв'язок між фактичними показниками якості (споживчими властивостями) і допоміжними показниками (технічними вимогами).

До основних ключових етапів (елементів) процесу розгортання функції якості (QFD) відносяться такі:

**1. Уточнення вимог споживачів.** Уточнення вимог споживача за допомогою перших трьох інструментів управління (діаграма спорідненості, діаграма взаємозв'язків, деревоподібна діаграма), коли голос споживача, тобто його абстрактні вимоги до продукту, перетворюється на інтегральну цінність продукту, тобто коли вимоги споживача можуть бути вимірними або оціненими. Задача цього етапу — визначити:

- **ЩО** вимагає споживач від продукту?
- **ЯК** продукт буде використовуватися споживачем?

**2. Перетворення вимог споживача у загальні характеристики продукту.** Вимоги споживача перетворюються на характеристики продукту, які можна буде оцінити або виміряти (параметри якості продукції), тобто дається відповідь на запитання “*як зробити ?*”.

Іншими словами, другим елементом QFD є перетворення вимог (побажань) споживача (ЩО) у загальні характеристики продукту (ЯК). Цей процес перетворення ЩО  $\Rightarrow$  ЯК є досить складним через велику кількість зв'язків, тому ця проблема має бути вирішена найбільш підготовленими фахівцями (експертами).

**3. На третьому етапі** здійснюється виявлення зв'язку між відповідними компонентами ЩО і ЯК за допомогою матричних діаграм. Іншими словами, виявляється тіснота зв'язку між вимогами споживача (ЩО) та загальними характеристиками продукту (ЯК) (див. рис. 8.24). Очевидно, що тіснота зв'язку залежить від “суттєвості внеску” конкретної характеристики продукту (ЯК) у задоволення конкретного побажання споживача (ЩО).

**4. На четвертому етапі** проводиться вибір цілей, тобто таких значень параметрів якості створюваного продукту, котрі будуть, на думку виробника, не лише відповідати очікуванням споживача, а й забезпечать конкурентоспроможність продукту у визначеному сегменті ринку. Схематично сказане фіксується так: ЩО  $\Rightarrow$  ЯК  $\Rightarrow$  Цілі.

**5. На п'ятому етапі** QFD встановлюється рейтинг важливості компоненту ЩО (конкретних побажань споживачів) за результатами їх опитування і на основі цих даних – визначення рейтингу важливості відповідних компонент ЯК (відповідних характеристик продукту). Реалізація цих дій здійснюється наданням символів, які характеризують зв'язки, відповідну вагу. Наприклад, позначати символом та відповідними числами рівномірної 9-ти бальної шкали:

- ✓ ● – сильний зв'язок (7, 8, 9 балів);
- ✓ ○ – середній зв'язок (4, 5, 6 балів);

✓ ○ – слабкий зв'язок (1, 2, 3 бали).

Розглянуті основні п'ять елементів розгортання функції якості є “фундаментом” QFD. Їх реалізація за допомогою матричних діаграм нагадує будівлю, і тому цей процес отримав назву концепції “**Будинок якості**”, оскільки форми матричних діаграм, які використовуються при цьому, нагадують будинок. Зокрема, кореляційна матриця, яка дозволяє остаточно скоригувати попередньо проведене перетворення ЩО на ЯК, за формулю нагадує дах будинку.

Таким чином, основна мета використання матриці – встановлення відповідності між потребами клієнтів, тобто відповіддю на запитання: “Що?” і тим, за допомогою чого вони задовольняються, тобто відповіддю на питання “Як?”.

Ця матриця заповнюється символами, які характеризують позитивний або негативний кореляційний зв'язок між відповідними характеристиками продукту з позицій інтересів й уподобань споживачів. Схематичне зображення “Будинку якості” та його складових наведено на рис. 8.24.

“Дах” „будинку якості” – це матриця, що показує ступінь кореляції між параметрами продукту / процесу, а права частина матриці дозволяє оцінити успішність задоволення вимог клієнтів щодо конкурентів або якнайкращих досягнень у даній галузі. Використовуючи бальну оцінку характеру залежності вимог споживачів від властивостей продукції одержують наочну картинку якнайкращого варіанту проекту, переводячи вимоги споживачів в конкретні властивості продукції.

Наведена матриця містить у собі дуже важливу інформацію, необхідну виробникові для розробки нової моделі, що враховує побажання споживачів та конкурентоспроможність продукту на ринку. Тому цей будинок якості називають “**матрицею планування продукту**”.

Ретельно підготовлене і проведене проектування нового продукту забезпечується строгим виконанням стандартів ISO серії 9000, а також стандартом “Структурування функції якості (QFD)” [<http://www.standard.ru/iso9000/iso9000-txt15.phtml>].

Будинок якості містить 6 елементів:

1. **Вимога клієнта** (структурований перелік вимог, що удержується із заяв клієнта).
2. **Технічні вимоги** (структурована сукупність релевантних і вимірюваних параметрів продукції або послуги).
3. **Матриця планування**, яка ілюструє сприйняття клієнта, спостережувані в ході дослідження ринку, і включає відносну важливість вимог клієнта, ефективність компанії і конкурентів в задоволенні цих вимог.
4. **Матриця взаємин**, яка ілюструє сприйняття групи QFD відносно взаємин між технічними і споживчими вимогами. Застосовується відповідна шкала, яка ілюструється з використанням символів або цифр. Здійснюється це за допомогою обговорень і досягнення консенсусу усередині групи. Концентрація на ключових відношеннях і мінімізація числа вимог є корисними методами для скорочення запитів до ресурсів.

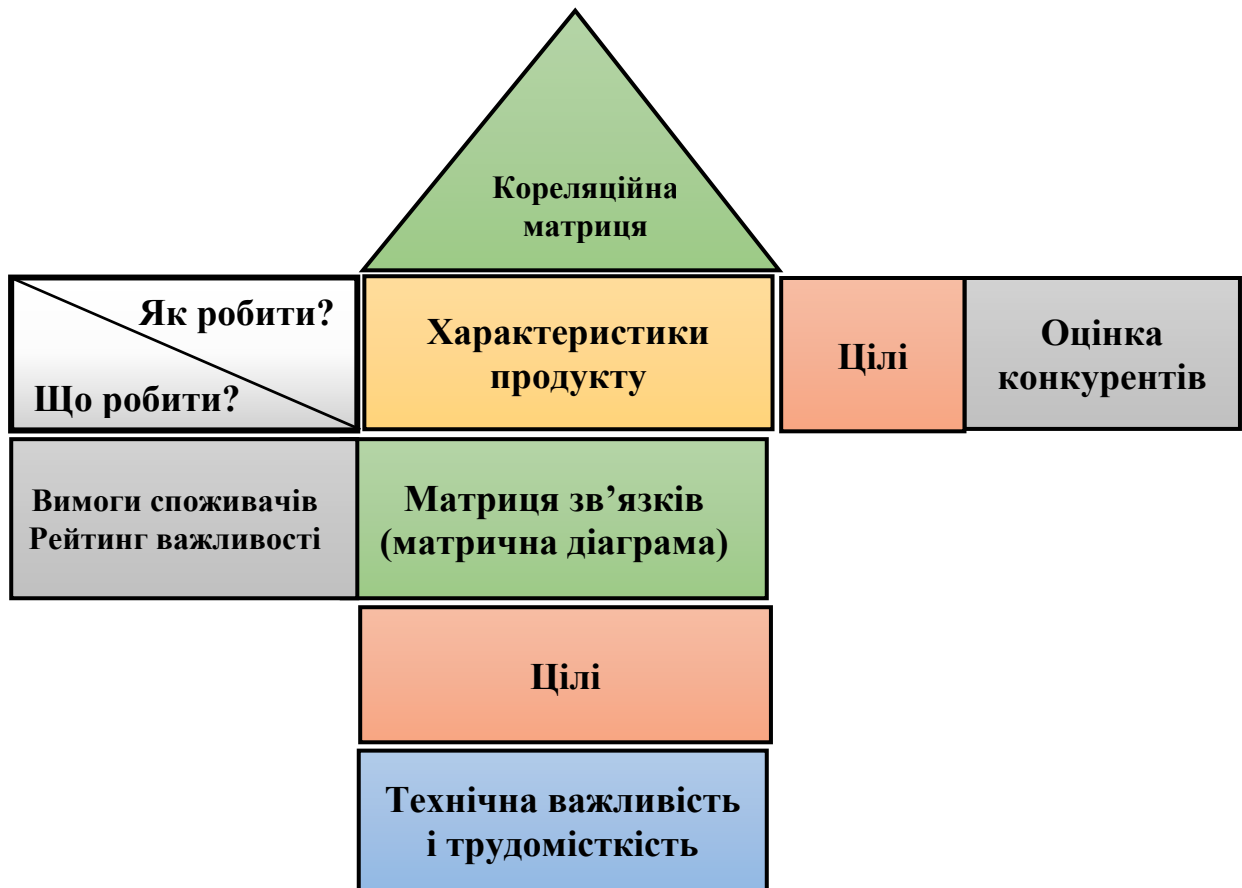


Рис. 8.24. Складові “Будинку якості” (“матриця планування продукту”)

5. **Матриця технічної кореляції.** Використовується для визначення того, де технічні вимоги підтримують або перешкоджають змінам послуги або продукту. Ця матриця створює можливості для інновацій.
6. **Технічні пріоритети,** орієнтири та цільові показники. Використовуються для запису:
  - пріоритетів, що приписуються технічним вимогам матриці;
  - вимірювань технічних характеристик, що досягаються конкурентною продукцією або послугою;
  - ступеню тяжкості (скрутності) в розвитку кожної вимоги.
7. **Сукупність цільових показників** для кожної технічної вимоги, які співвідносяться з клієнтськими запитами.

Таким чином, в основі QFD лежить використання **серії матриць** – так званих “будинків якості”, що дозволяють інтегрувати вимоги споживачів до рівня якості з параметрами продукту або процесу. У матриці вимоги покупців представлені у рядках, а параметри продукту / процесу – в стовпцях.

Метод QFD передбачає застосування серії матричних діаграм, що також мають назву “Будинок якості”, кожна з яких застосовується на певному етапі створення продукту.

Повністю розгорнута функція якості включає чотири етапи відстеження “голосу споживача”:

1. **Планування продукту:** вимоги та побажання споживача за допомогою матричної діаграми трансформуються в характеристики продукції.
2. **Проектування або розгортання проекту** передбачає ідентифікацію найбільш критичних частин та компонентів створюваного продукту, що забезпечують втілення параметрів якості, установлених на етапі 1.
3. **Проектування процесу** передбачає ідентифікацію критичних параметрів кожної операції та вибір методів їх контролю.
4. **Проектування виробництва** передбачає розроблення виробничих інструкцій та вибір інструментів контролю якості виробництва продукту.

Більш детально опишемо чотири етапи розгортання функцій якості:

**1. Планування продукту.** Це дуже відповідальний етап планування, на якому повинні бути виявлені групи потенційних споживачів нового продукту або послуг, їх потреби й очікування. Досвід показує, що до 80% додаткових витрат, викликаних змінами в період розробки і реалізації проекту, розробки й освоєння випуску нової продукції (послуги), удосконалення старої продукції чи послуги, обумовлені помилками у встановленні потреб потенційних споживачів.

**2. Проектування продукту.** На основі заданих характеристик продукту здійснюється його проектування, ядром якого є створення моделей QFD. Наприклад, у разі розробки нової моделі автомобіля на цьому етапі буде підготовлений повний комплект конструкторської документації. Характеристики продукції можуть коректуватися й уточнювати, якщо в цьому виникає потреба (зміна цін на матеріали та що комплектують вироби, зміну кон'юнктури ринку).

Завершується другий етап розробкою повної деталізації та специфікації. **Специфікація** містять вимоги, яким повинна відповідати кожна деталь, що комплектує виріб. При розробці специфікацій важливо не завищити вимоги до деталей, оскільки це призводить до зростання собівартості нової продукції та створення “зайвої якості”.

**3. Проектування процесів.** На цьому етапі на основі специфікацій проектуються процеси закупівлі матеріалів і комплектуючих виробів, проводиться вибір постачальників, проектуються технологічні процеси виготовлення окремих деталей, розробляється комплект технологічної документації, визначаються основні параметри процесів.

**4. Проектування виробництва.** На цьому етапі опрацьовуються питання організації виробництва нової продукції (послуги), вибирається необхідне технологічне устаткування, а також устаткування для здійснення технічного контролю, розробляються необхідні процедури та робочі інструкції для процесів виготовлення, складання (вузлів, блоків, модулів), налагодження, контролю і випробування виробу (продукції, послуги).

**ДВ→** Практична реалізація QFD як найважливішого інструмента управління якістю вимагає застосування не лише семи інструментів управління якістю, а також і семи інструментів

контролю якості (контрольний листок, контрольна карта, гістограма, діаграма Парето, діаграма Ісікави, діаграма розкиду, метод стратифікації).

Таким чином, QFD трактується як окрема методика, у межах якої використовується комплекс інструментів, спрямованих на забезпечення очікуваної споживачем цінності продукту за його мінімальної вартості. Саме завдяки використанню QFD споживач може управляти продуктом, він стає головною турботою компанії, допомагаючи їй залишитись у бізнесі та досягти успіху.

Завдання підвищення якості продукції в даний час стало однією з головних у економічно розвинених країнах світу, і викликано це в першу чергу посиленням конкурентної боротьби за покупця, практично на всіх світових ринках (товари споживання, послуги, організація різних заходів і т. д.).

У цьому зв'язку велику роль набуває **бенчмаркінг** – *альтернативний метод стратегічного планування, в якому завдання визначаються не від досягнутого, а на основі аналізу показників конкурентів*. Технологія бенчмаркінгу об'єднує в єдину систему розробку стратегії, галузевий аналіз й аналіз конкурентів. Метою бенчмаркінгу є процес знаходження та вивчення найкращих з відомих методів ведення бізнесу, управління і ведення справ, який дає відповідь на тривіальне запитання: **“Як зробити це ще краще?”**.

Якість завжди є одним з головних факторів забезпечення конкурентоздатності продукції, робіт та послуг розвинутих країн світу. Сучасні моделі управління підприємством базуються не на кількості виробленої продукції, а на її якості. Основою політики керівників підприємств стало задоволення потреб споживачів. ◀

Впровадження у діяльність організації методики розгортання (структурування) функцій якості дозволяє:

- значно зменшити витрати на розробку нового продукту / послуги;
- значно скоротити тривалість процесів планування й ухвалення рішення;
- значно зменшити виробничі витрати;
- значно підвищити якість продуктів, які виробляються, послуг, що надаються;
- збільшити надійність продукту / послуги;
- значно підвищити продуктивність праці;
- значно зменшити кількість скарг;
- скоротити час реагування на виникнення ринкових можливостей.

З метою швидкого й ефективного досягнення результатів при впровадженні в діяльність організації QFD, необхідно:

- ✓ мати в своєму розпорядженні всю необхідну інформацію про ринок;
- ✓ якомога більш повно враховувати думки споживачів;
- ✓ бути відвертими із споживачами;
- ✓ створити умови для продуктивної командної роботи;
- ✓ проводити дії послідовно;
- ✓ ретельно документувати те, що відбувається на всіх етапах процесу;
- ✓ бути дисциплінованими і відданими справі.

Проте, як показує практика, процес впровадження QFD має певні труднощі, які пов'язані з:

- нестандартністю замовлень;
- недостатньою комунікацією (спілкуванням) споживачів;
- непродуманої політики постачання, що призводять до вимушених змін у проєктованому продукті;

- невчасністю ухвалення рішення або санкціонування необхідних дій;
- недостатньою увагою до подробиць;
- відсутності ясності щодо компетентності та відповідальності.

Незважаючи на проблеми і труднощі, що виникають, QFD вже давно і з успіхом використовується різними компаніями світу. Належить констатувати, що використання методів QFD дозволило таким компаніям, як Ford, Rank Xerox і Digital добитися результатів, які вражають.

Процеси в Україні у сфері менеджменту якості та її пріоритетного місця наближаються до світових. Стрімке економічне процвітання провідних країн світу спонукає нашу державу до пошуку інтенсивних шляхів розвитку економіки, в основі яких була б висока якість продукції.

Нині Україна знаходиться на шляху до Європи і тому висловлювання доктора Едварда Демінга “*Основа якості продукції – якість праці та якісний менеджмент на всіх рівнях*” стає для наших підприємств пріоритетним.

---

## 8.8. Етапи еволюції теорії якості та персоналії

---

Століття інформаційних технологій і століття якості. Гуру якості. Три історичні етапи розвитку теорії та практики якості та відповідні групи гуру. Еволюція концепцій та моделей якості.

---

Нинішня епоха різко відрізняється від попередньої, індустріальної: зараз керує техніка, а товаром виступає інформація. Недарма ж кажуть, що ХХІ століття – століття *інформаційних технологій* (ІТ), або ще ширше та глибше – *інформаційно-комунікаційних технологій* (*Information and Communication Technologies, ICT*).

ICT – сукупність методів, виробничих процесів і програмно-технічних засобів, інтегрованих з метою збирання, опрацювання, зберігання, розповсюдження, показу і використання інформації в інтересах її користувачів. Вказана технологія змінює якість або первісний стан матерії з метою одержання матеріального продукту (виробу) чи нематеріального продукту (послуги). Сам же продукт є речовим або інтелектуальним результатом людської праці.

Таким чином, можна з упевненістю погодитись з Джозефом Джураном, що ХХІ століття являє собою *епоху глобальної якості*. Поєднання категорій якості та інформації надає принципово новий характер сучасній цивілізації. У теорії “інформаційного суспільства” американського письменника, філософа, соціолога та футуролога Елвіна Тоффлера (1928-2016) розглядається детально феномен “*третьої хвилі*” – суть, переваги та недоліки сучасного постіндустріального суспільства та тих глобальних проблем, з якими зіткнеться людство в ХХІ столітті. Ним особливо виділена стратегічна роль, яку відіграють наука та еліта вчених в розвитку цивілізації.

Неоціненна роль вчених, які створювали та розвивали теорію якості. Цих вчених часто називають терміном “Гуру якості”. В індуїзмі, сикхізмі, а також буддизмі слово “*гуру*” буквально означає “важлива людина”, “мудра людина”, “гідний, добрий і поважний чоловік”, “учитель, який не тільки передає будь-яку інформацію, а й живить пробудження учня”. Гуру якості повинні володіти всіма цими рисами, а також мати власну концепцію і підхід до якості, щоб зробили значний і довготривалий вплив на бізнес.



Можна говорити про три історичні етапи еволюції теорії та практики якості та відповідні групи гуру, починаючи з 40-х рр. ХХ ст., а саме:

1. Перший етап. Група американських вчених, які на початку 50-х рр. ХХ ст. “матеріалізували” свої концепції якості в Японії.
2. Другий етап. Група японських вчених, яка у кінці 50-х рр. ХХ ст. розробила нову концепцію якості у відповідь на американську.
3. Третій етап. Група західних гуру, концепції яких направлені на вдосконалення напрацювання японських вчених (70-80 рр. ХХ ст.).

Нижче ми розглянемо наукові персоналії – короткі нариси творчості Гуру якості.

### **Перший етап розвитку теорії та практики якості та персоналії**

На початку 50-х рр. ХХ ст. **Едвардс Демінг** (W. Edwards Deming) почав розробляти свої знамениті чотирнадцять принципів (розробляв 20 років), в яких органічно поєднав інженерні методи забезпечення якості та організаційні проблеми менеджменту.

Демінг йде набагато далі, ніж всі інші дослідники, які вважають за краще говорити про якість в термінах “задоволення споживача при мінімально можливих витратах”. Думка Демінга сформульована в британському стандарті BS 5750, де термін “якість” розглядається як придатність для цілей, тобто, *чи достатньо точно спроектований і виготовлений продукт, щоб задовольнити потреби споживача.*

Природно, що філософія Демінга, як і всі сучасні підходи до якості, концентрується на споживачі. Таким чином, Демінг приділив велику увагу ролі та відповідальності менеджменту на індивідуальному рівні та рівні компанії, вважаючи, що менеджмент відповідає за 94% проблем з якістю. Його принципи створення якості є повною філософією менеджменту, які можуть бути застосовані для малих і великих організацій в державному, приватному секторі або сфері послуг.

Демінг також запропонував системний підхід до вирішення проблем якості та розповсюдив широко відомий цикл PDCA (розроблений Шухартом, проте відомий як цикл Демінга): планування (*Planning*) ⇒ Дія (*Do*) ⇒ Контроль результатів (*Check*) ⇒ Корегувальна дія (*Action*). Ця універсальна методологія, ідея якої полягає в постійному вдосконаленні, і, отже, зменшенні різниці між потребами споживачів і результатами процесу. Цикл спрямований на навчання та постійне вдосконалення, враховуючи системний підхід до формування якості.

Колишній президент Японського союзу вчених і інженерів (JUSE) **Каору Ісікава** запросив Демінга в 1950 році до Японії і надав йому можливість виступити перед вищим керівництвом провідних японських компаній. Цикли семінарів Демінга по статистичним методам і менеджменту якості привели до заснування у 1951 році премії Демінга.

Розвинений менеджмент якості вимагає дій, які необхідно запланувати, удосконалювати й контролювати. **Джозеф Джуран** (Joseph Moses Juran) розробив **трилогію якості** – якість планування (проекти), контроль якості та поліпшення якості.

Коли досягають етапу контролю, то розробляються плани щодо поліпшення показників для кожного проекту, з використанням інструментів і методів, таких як

аналіз Парето. Ця діяльність в кінцевому підсумку приводить до прориву на вищий рівень, що знову-таки контролюється, щоб запобігти будь-яким порушенням (див. рис. 8.25).

Джуран акцентує увагу на те, що якість повинна бути пов'язана зі задоволеністю споживачів, а також наголошує на необхідності постійного поліпшення якості за допомогою послідовності невеликих дій, здійснюваних в рамках всієї організації. Вчений зосереджується не тільки на кінцевому споживачу, але й на постачальнику та виробнику продукції, вважаючи, що людина є частина процесу, виконуючи деякі перетворення або дії (рис. 8.26).

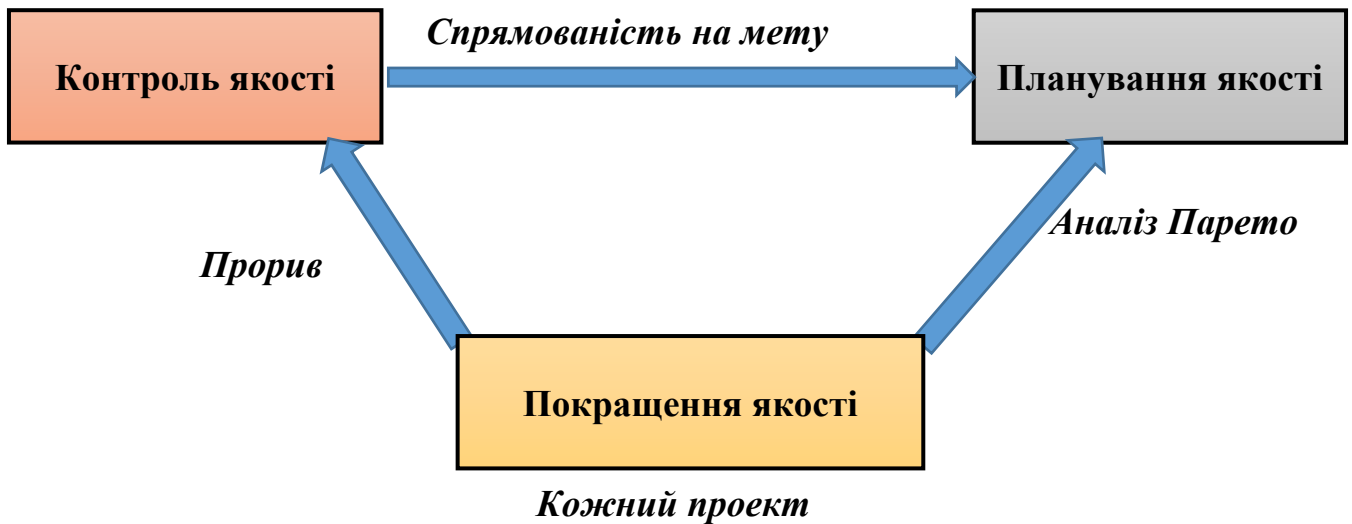


Рис. 8.25. Трилогія якості Джурана

Він зосередився не тільки на кінцевому споживачі, але й на інших зовнішніх і внутрішніх клієнтах. Кожна людина по всьому ланцюжку, від розробника продукту до кінцевого споживача, є постачальником і споживачем. Крім цього, людина розглядається як частина процесу, виконуючи деякі перетворення або дії.

**Десять кроків з покращення якості** за Джураном:

1. Сформулюйте усвідомлення потреби і створіть можливість для поліпшення якості.
2. Встановіть цілі вдосконалення.
3. Організуйте досягнення цілей.
4. Проводьте навчання.
5. Виконуйте проекти для вирішення проблем.
6. Інформуйте про прогрес.
7. Висловлюйте визнання.
8. Повідомляйте про результати.
9. Реєструйте досягнуті успіхи.
10. Підтримуйте імпульс.

**Арманд Фейгенбаум** (Armand V Feigenbaum) є автором “Загального контролю якості” (Total Quality Control, TQC), який часто називають **загальною якістю**. Він встановив, що ефективна система інтеграції зі забезпечення, підтримки та

поліпшення якості в організації дозволяє значно підвищити економічну ефективність виробництва чи послуг, що в свою чергу веде до повного задоволення споживача.

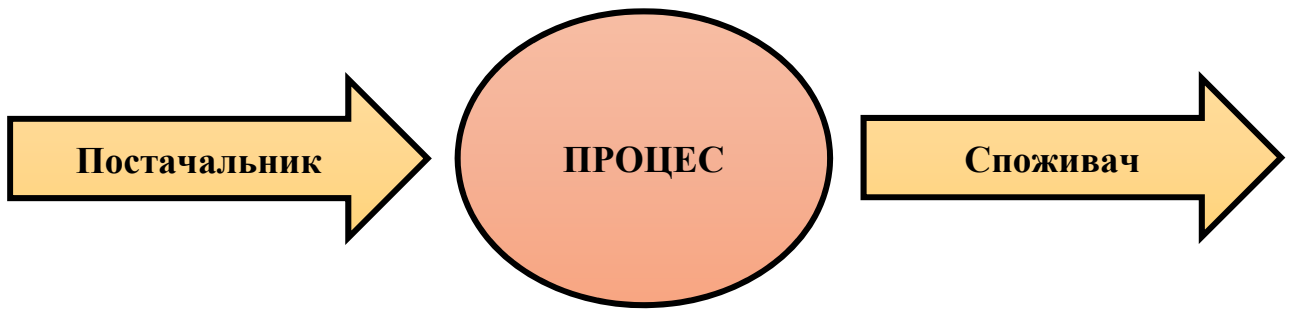


Рис. 8.26. Зв'язок між постачальником і споживачем при формуванні якості

Вважаючи, що вказана система може бути представлена як бізнес-метод, Фейгенбаум запропонував такі **три кроки (етапи) для досягнення якості**: 1) якість лідерства, 2) сучасні технології якості і 3) організаційна прихильність.

Широке впровадження методів забезпечення якості, “Кружків контролю якості” і “Семи інструментів якості” привели до ідей “**Контролю якості в масштабі всієї компанії**” (*Company Wide Quality Control – CWQC*) і “**Загального контролю якості**” (*Total Quality Control – TQC*). Термін CWQC був уведений Ісікава, а термін TQC – **Армандом Фейгенбаумом** у 1951 році. У системі TQC відбувається інтеграція технології контролю якості в різних функціональних підрозділах фірми, в той час як CWQC, згідно Ісікава, включає також випуск високоякісної продукції за низькою ціною для вигоди споживачів, службовців компанії і її власників, а також всебічне поліпшення якості життя.

### Другий етап розвитку теорії та практики якості та персоналії

**Каору Ісікава** (Kaoru Ishikawa) зробив великий внесок у розробку теорії та інструментарію якості, але найбільш значущим є його погляд на загальну якість, контроль якості в масштабах підприємства. Він зробив акцент на людській стороні якості, розробив діаграму, яка отримала назву в його честь (“діаграма Ісікави”) і узагальнив для використання методу “**Семи інструментів якості**”:

1. Аналіз Парето (яка проблема найбільша?).
2. Причинно-наслідкові діаграми (що є причиною проблеми?).
3. Стратифікація (яким чином складені дані?).
4. Контрольні листи (як часто це відбувається або робиться?).
5. Гістограми (що спільного в варіаціях?).
6. Діаграми розсіювання (які взаємозв'язки існують між факторами?).
7. Діаграми контролю процесів (яка варіація контролюється і як?).

Зазначимо, що Ісікава багато років працював над вдосконаленням методу “Семи інструментів якості”, який був представлений науково-виробничій спільноті в 1979 р. Ісікава вважав, що ці сім інструментів повинні бути широко відомі практично всім в організації, і використовуватися для аналізу проблем та розробки поліпшень. Використовуючи їх разом, можна отримати потужний інструмент для

поліпшень. Одним з найвідоміших інструментів є діаграма Ісікави (“риб'яча кістка” або зв'язок причини і наслідку).

Зазначимо, що діаграма Ісікави допомагає у груповій роботі над підвищенням якості. Вона наочно та систематично представляє й аналізує реальні причини проблем або наслідків. Діаграма структурує великі та дрібні причини, що призводять до одного наслідку (або проблеми), визначає проблему та можливі (ймовірні) причини, поступово звужуючи кількість можливих причин. Вона також допомагає групам залишатися системними в генерації ідей та правильно направляє на визначення причин.

Великий внесок у менеджмент якості вклав вище згаданий *Таїті Оно*. Він створив відому виробничу систему на фірмі Тойота, яка зараз називається “бережливе виробництво” (“*Lean production*”). Одним з елементом цієї системи стали “Гуртки контролю якості” (“*QC - circles*”).

Потреба в створенні *сучасної моделі якості* в рамках концепції **TQM**, зародилася в умовах ринків і ринкових секторів, де існувала конкуренція (типовий приклад – ринок США, особливо для виробників автомобілів і споживчих електронних товарів). Там вирішальну роль стали відігравати відносини підприємства зі споживачем.

Стратегія якості, запропонована під маркою TQM, – це стратегія конкурентної



боротьби, яка має за мету постійне поліпшення всіх результатів роботи, і як наслідок цього – постійне поліпшення діяльності всієї організації (не тільки підсистеми, що займається продукцією та послугами). Якість поширюється на всі функції та процеси, стає атрибутом кожного елемента системи і кожного виду діяльності. Паралельно йшла інтенсивна розробка таких напрямів як *методи підвищення*

*надійності* – *Валоді Вейбулл* (1887-1979) і *планування експериментів* – сер *Рональд Фішер* (1890-1962) (див. фотографії).

У 60-х рр. ХХ ст., крім вдосконалення теорії менеджменту якості, активно формується новий напрям досліджень – “*інжиніринг якості*”, завдяки працям відомого вже читачам *Геніті Тагуті* (*Genichi Taguchi*, народ. у 1924 р.) – талановитого японського статистика, лауреата найпрестижніших нагород в галузі якості (премія ім. Демінга присуджувалася йому чотири рази). Цей гуру якості, після багаторічного вивчення питань вдосконалення промислових процесів і продукції, розвинув ідеї математичної статистики, які стосуються, зокрема, статистичних методів планування експерименту та контролю якості.

Методи Тагуті представляють собою один з принципово нових підходів до вирішення питань якості. Головне в філософії Тагуті – це *підвищення якості з одночасним зниженням витрат*. Згідно Тагуті, економічний фактор (вартість) і якість аналізуються спільно (колективно). Обидва фактори пов'язані загальною характеристикою, яка називається *функцією витрат*.

Значення показника якості відкладається на горизонтальній осі, а вертикальна вісь показує "втрати", або "шкоду", або "значимість", що відносяться до значень

показників якості. Ці втрати приймаються рівними нулю, коли характеристика якості досягає свого номінального значення.

Математичний вид функції Тагуті – це парабола, де  $x$  – це вимірюване значення показника якості,  $L(x)$  – це функція втрат Тагуті:

$$L(x) = c(x - x_0)^2 + d, \quad (8.81)$$

де  $x_0$  – номінальне значення показника якості,  $c$  – коефіцієнт масштабу,  $d = const$ .

**ДВ** → Побудуємо в Microsoft Office Excel графік конкретної функції  $L(x) = 0,5 \cdot (x - 8)^2 + 1$ . Масштаб: одна поділка шкали – дві одиниці. Як бачимо з рис. 8.27, функція втрат Тагуті має мінімум ( $L(x) = \min$ ) при  $x = x_0 = 8$ , тобто в точці М (8; 1) найкращого значення (номіналу). При віддаленні від номіналу втрати зростають і на межі поля досягають свого максимального значення – втрати від заміни виробу. ◀

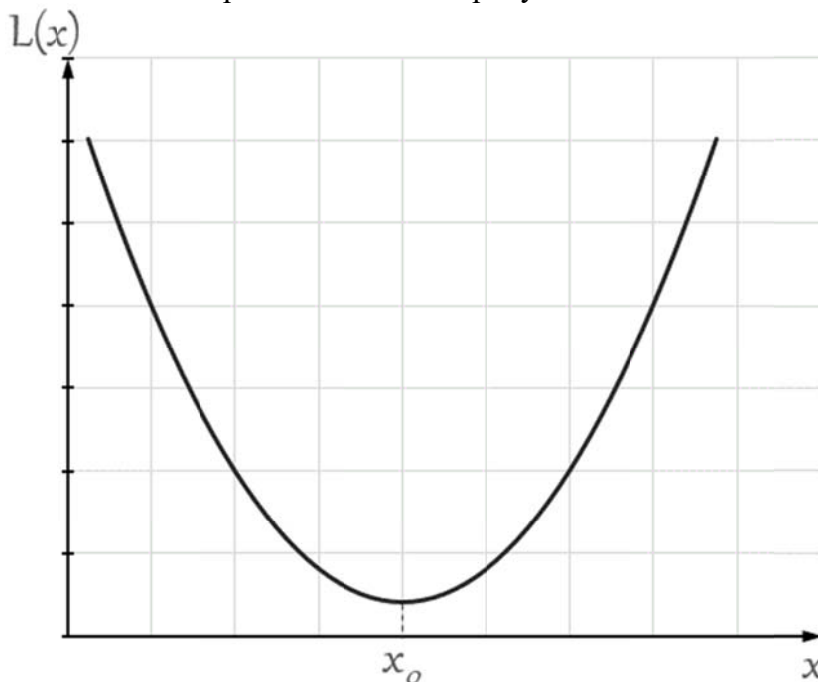


Рис. 8.27. Графік функції втрат

**ДВ** → Методи Тагуті дозволяють проектувати вироби і процеси, нечутливі до впливу так званих “шумів”, тобто змінних факторів, що викликають розкид значень параметрів, які важко, неможливо або дорого змінити. З економічної точки зору будь-які, навіть найменші “шуми” зменшують прибуток, оскільки при цьому зростають виробничі витрати і витрати на гарантійне обслуговування. Таку стійкість прийнято називати **робастністю** (від англ. *robust* – міцний, стійкий). Тагуті акцентує увагу на етапах, що передують проектуванню виробів, оскільки саме на них вирішується завдання досягнення робастності.

Заслуга Тагуті полягає в тому, що він зумів знайти порівняно прості та переконливі аргументи і прийоми, які зробили планування експерименту в галузі забезпечення якості реальністю.

Геніті Тагуті вважав, що потрібно прагнути розробити продукт, який є надійним і стабільним до можливих змін у процесі виробництва, а не намагатися контролювати всі зміни протягом реального виробництва. Його ідея була пов'язана з постійною оптимізацією продукту і процесу до виробництва, а не з експериментальною перевіркою якості через контроль. Мається на увазі, що процедури, пов'язані з реалізацією якості функціонують в режимі “*of-line*” (відключення), на відміну від режиму “*on-line*” (включення).

Якість і надійність перемістилися на стадію проектування, де вони дійсно і повинні бути, при повинні виконуватися три стадії:



- 1) проектування системи;
- 2) проектування параметрів;
- 3) проектування припустимих допусків.

Надійність продукту, який проектується визначається:

1. Якістю проектування параметрів.
2. Якістю статистичного контролю процесу виготовлення виробу.
3. Якістю інспектування продукту (контролю якості виробу). ◀

Нині компанії бачать тісний зв'язок між методами Тагучі та функцією розгортання якості (QFD).



**Шігео Шінго** (Shigeo Shingo, 1909-1990) – видатний японський промисловий інженер, один з провідних експертів у виробництві та виробничій системі Тойоти. Він запропонував виробляти деталі та цілісні вироби “точно під час”, а для цього запропонував систему “single minute exchange of die” (швидке переналагодження), що дозволяє скоротити простої з годин до хвилин, а також систему “Рока-ґоке” (доведення наявності помилки). У системі “Рока-ґоке” дефекти оперативно виявляються, технологічний процес зупиняється і дається негайний зворотний зв'язок. При цьому

можуть бути визначені корінні причини проблеми, що є попередженням повторному виникненню.

### Третій етап розвитку теорії та практики якості та персоналії

Американський інженер **Філіп Кросбі** (Philip Crosby) (1926-2001) один з визнаних в світі американських авторитетів в області якості. Найбільшу популярність він отримав за популяризацію концепції “Нульових дефектів” (*Zero Defect*). Найбільш широку популярність здобули його 14 принципів (абсолютів), що визначають послідовність дій щодо забезпечення якості на підприємствах. Також Кросбі запропонував універсальний спосіб оцінювання ступеня компетентності підприємства у вирішенні проблеми якості

Філіп Кросбі відомий поняттями “якість-безкоштовно” і “нульовий дефект”, а його процес поліпшення якості базується на основі чотирьох абсолютів:

- 1) якість – відповідність вимогам;
- 2) система якості – запобігання дефектам;
- 3) виконання стандартів – нульовий дефект;
- 4) вимірювання якості – ціна невідповідності.

Філіп Кросбі запропонував концепцію “Чотирнадцять кроків поліпшення якості”, розглянуту нами раніше.



**Том Пітерс** (Tom Peters, народ. в 1942) – один з найбільших фахівців в галузі менеджменту, бізнес-консультант зі світовим ім'ям, член Міжнародної академії менеджменту, Всесвітньої асоціації продуктивності. Том Пітерс відвів центральну роль керівництва в процесі поліпшення якості, відмовившись від слова “менеджмент” на користь “лідерства” (рис. 8.28). Спільно з Робертом Уотерманом видав у 1982 році книгу “У пошуках досконалості”, яка справила ефект бомби, що розірвалася і ввела Пітерса в пантеон гуру менеджменту.

Вказана книга була названа “найбільшою за всю історію книговидавництва про бізнес” за результатами опитування, проведеного видавництвом Bloomsbury Publishing. Слідом вийшов цілий ряд світових бестселерів Пітерса. В основі книги – велике дослідження принципів успіху 43 успішних американських компаній, що працюють в різних секторах економіки (зокрема: Digital Equipment, Hewlett-Packard, Intel, Texas Instruments; Procter & Gamble, Johnson & Johnson, Caterpillar, 3M, Delta Airlines, Marriott, McDonald's, Disney Productions, Dow Chemical, Exxon). Т. Пітерс і Р. Уотерман проаналізували використовувані цими компаніями методи управління, сформулювали *вісім принципів успіху* і запропонували принципи створення ефективного бізнесу. Особливий акцент Том Пітерс робить на неприпустимість догматичної оцінки роботи підприємств, ставлячи на перше місце революційність перетворень і стверджуючи, що надання більшої свободи співробітникам принесе користі більше, ніж загальний контроль.

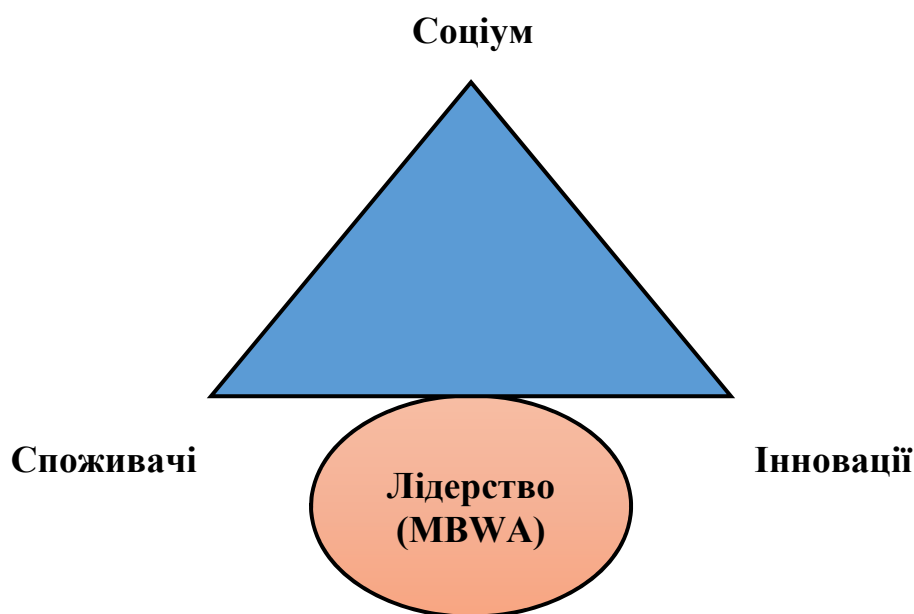


Рис. 8.28. Загальна модель Пітерса

**ДВ** → *Вісім принципів успіху* :

- ❖ Перший принцип: готовність до активних дій.
- ❖ Другий принцип: контакт з клієнтом.
- ❖ Третій принцип: автономність і підприємливість.
- ❖ Четвертий принцип: продуктивність забезпечують люди.
- ❖ П'ятий принцип: орієнтація на цінності.
- ❖ Шостий принцип: вірність покликанню.
- ❖ Сьомий принцип: проста структура, нечисленний керівний склад.
- ❖ Восьмий принцип: дисципліна в поєднанні зі свободою.

Примітка. Читач може ґрунтовно ознайомитися зі змістом вказаних принципів за джерелом: [Пітерс Т. В пошуках совершенства: Уроки самых успешных компаний Америки / Т.Пітерс, Р. Уотерман- мл.; пер. с англ. В.Кулебы, О.Пелявского. – М.: Альпина Паблишерз, 2010. – 528 с.].

Пітерс заснував Tom Peters Company – міжнародну навчальну та консалтингову організацію. Серед підприємств, які отримують її рекомендації з питань організаційних перетворень для підготовки до майбутніх змін, такі великі клієнти, як Rolls-Royce, Starbucks, Bank of America, Continental Airlines, Virgin Direct і Intel. Бачення Пітерсом розвитку менеджменту

багато фахівців називають ідеологією постмодерністської корпорації, яка, тим не менше, близька до провідних міжнародних організацій, серед яких Intel, Bank of America, Rolls-Royce та інші.

Вивчивши успішні американські організації, Пітерс прийшов до висновку, що будь-який розумний підхід до організації включає в себе сім компонентів, які входять в модель "7-S" Маккінсі (рис. 8.29). ◀

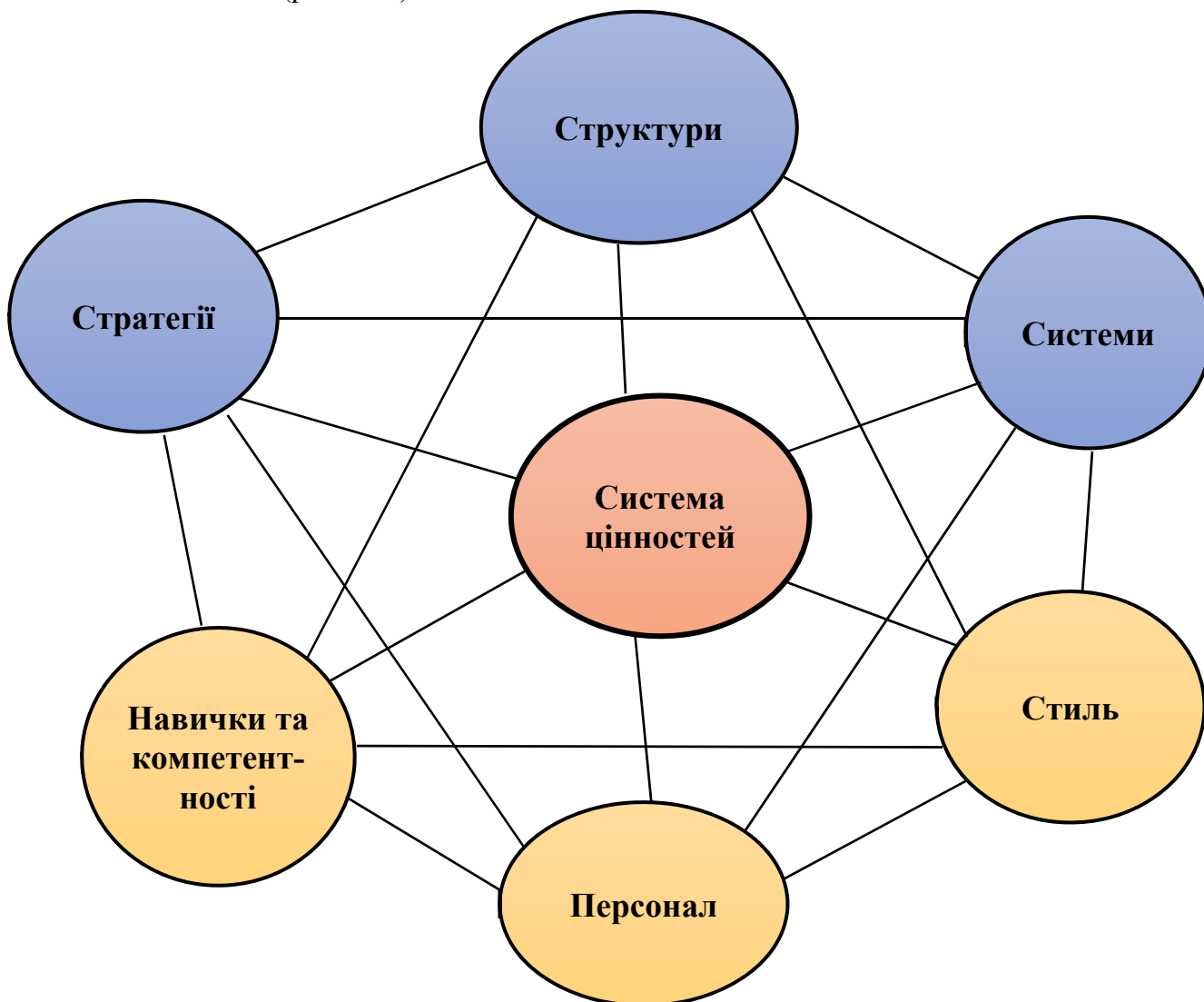


Рис. 8.29. Модель "7-S" Маккінсі

Модель "7-S" описує ключові елементи, що визначають обличчя організації. Вона була запропонована в 1980 р. трьома дослідниками (Роберт Уотерман, Том Пітерс і Джульєн Філліпс) та групою консультантів з компанії McKinsey (Маккінсі) і являє собою перелік принципів, що дозволяють проаналізувати сутність компанії. Модель рекомендує звернути увагу на сім основних галузей (сфер), назви яких починаються з літери S: стратегія (*strategy*), структура (*structure*), системи (*systems*), стиль (*style*), сума навичок (*skills*), співробітники (*staff*) і спільні цінності (*shared values*).

Вказані дослідники вважали, що модель "7S" – не більше ніж грубий концептуальний інструмент, який допомагає керівникам усвідомлювати складності, які відбуваються в організаціях, і створювати програми змін, які багаті ідеями та є звичайними з точки зору очікувань. Переваги моделі – реалізм та відносна простота. Ось чому модель "7 S" швидше за все, більш приваблива для керівників-практиків, ніж для академічних дослідників.



Зафарбовані відносно більш темним кольором кружки (стратегія, структура, система) є **жорсткими параметрами** організації, тобто керівники мають доступну можливість впливати на них, ефективно управляти ними. Інші параметри вважаються м'якими, тобто менш очевидними і схильними до впливу культурних чинників. Сполучні лінії показують взаємозалежність усіх елементів. Чинником, який їх скріплює, виступають цінності організації.

Таким чином, вирішивши змінити один із параметрів ми повинні враховувати той вплив, який чинить він і на нього інші елементи моделі. Звідси виникло поняття “територія корпоративної культури”.

Том Пітерс увів термін “управління прогулюючись” (*the management by wandering around*, MBWA), вважаючи, що поки ефективний лідер гуляє, відбувається принаймні три великих подій:

1. Слухання – демонструє турботу.
2. Навчання – цінність передачі інформації.
3. Сприяння – безпосередня допомога на місці.

Ми розглянули тільки декілька новацій в галузі теорії та практики якості. Більш широке та детальне уявлення про сучасні концепції та моделі якості читач може почерпнути в джерелах [26; 43; 46; 48; 51; 53; 88; 92; 94; 96; 121; 1384 143; 157; 190; 191; 195; 196; 197; 212; 213].

## Контрольні запитання

№ з/п	Контрольні запитання	№ з/п	Контрольні запитання
1.	Яка класифікація показників якості?	37.	Проаналізувати основні етапи первинної обробки даних.
2.	Які завдання стоять перед кваліметрією ?	38.	Проаналізувати основні етапи систематизації емпіричних даних.
3.	Перерахувати методи оцінювання якості.	39.	Що таке генеральна сукупність ?
4.	Що таке комплексні показники якості ?	40.	Що таке закон розподілу генеральної сукупності?
5.	Проаналізувати показники з оцінювання системи якості.	41.	Дати означення “статистики”.
6.	Які існують два типи показників якості послуг?	42.	Що таке статистична оцінка ?
7.	Що таке “система якості” ?	43.	Назвати основні показники генеральної сукупності.
8.	Пояснити сутність моделі Маркова: потоки відмов і відновлення системи якості.	44.	Назвати основні показники вибіркової сукупності.
9.	Що таке “рівні якості” ?	45.	Які властивості має статистична оцінка ?
10.	Які шкали застосовуються для оцінювання та вимірювання рівнів якості ?	46.	Яке значення мають статистичні методи контролю якості продукції ?
11.	Які основні етапи процесу оцінювання рівня якості ?	47.	Проаналізувати такий метод контролю якості, як контрольний листок.

12.	Які цілі контролю якості продукції ?	48.	Проаналізувати такий метод контролю якості, як контрольна карта.
13.	Що таке суцільний контроль ?	49.	Проаналізувати такий метод контролю якості, як діаграма Ісікави.
14.	Що таке вибіркового контроль ?	50.	Проаналізувати такий метод контролю якості, як гістограма.
15.	Як можна використовувати математичну статистику в контролі якості продукції ?	51.	Проаналізувати такий метод контролю якості, як діаграма Парето.
16.	Проаналізувати гіпергеометричний закон розподілу випадкових величин в системах контролю та моделюванні процесів контролю якості продукції.	52.	Проаналізувати такий метод контролю якості, як діаграма розсіювання.
17.	Проаналізувати біноміальний закон розподілу випадкових величин в системах контролю та моделювання процесів контролю якості продукції.	53.	Проаналізувати такий метод контролю якості, як стратифікація.
18.	Проаналізувати закон Пуассона розподілу випадкових величин в системах контролю та моделювання процесів контролю якості продукції.	54.	Який історичний розвиток підходів і методів у сфері управління якістю ?
19.	Проаналізувати нормальний закон розподілу випадкових величин в системах контролю та моделювання процесів контролю якості продукції.	55.	Проаналізувати нові інструменти управління якістю: діаграма спорідненості.
20.	Пояснити моделі якості продукції, побудовані на основі локальної теореми Муавра-Лапласа.	56.	Проаналізувати нові інструменти управління якістю: діаграма взаємозв'язків.
21.	Пояснити моделі якості продукції, побудовані на основі інтегральної теореми Муавра-Лапласа.	57.	Проаналізувати нові інструменти управління якістю: деревоподібна (системна) діаграма.
22.	Що таке закон великих чисел ?	58.	Проаналізувати нові інструменти управління якістю: матрична діаграма.
23.	Закон великих чисел утворює закономірність, чи управляє її проявом ?	59.	Проаналізувати нові інструменти управління якістю: стрілочна діаграма.
24.	Що таке центральна гранична теорема ?	60.	Проаналізувати нові інструменти управління якістю: діаграма процесу здійснення програми.
25.	Як застосовується закон великих чисел в теорії якості ?	61.	Проаналізувати нові інструменти управління якістю: матриця пріоритетів.
26.	Як застосовується центральна гранична теорема в теорії якості ?	62.	У чому полягає технологія розгортання функції якості ?
27.	Яка сутність теорії ймовірностей ?	63.	У чому суть концепції QFD ?
28.	Яка сутність математичної статистики ?	64.	Які основні принципи QFD ?
29.	Як пов'язані між собою теорія ймовірностей та математична статистика?	65.	Які галузі, де поширене застосування QFD?
30.	Що таке "вибірка" ?	66.	Які основні переваги має використання на практиці QFD ?

31.	У чому основна мета отримання вибірки ?	67.	Охарактеризувати модель “профілю якості” Н. Кано.
32.	Що таке репрезентативна вибірка ?	68.	Які основні ключові етапи (елементи) процесу розгортання функції якості (QFD) ?
33.	Що таке рандомізована вибірка ?	69.	Які складові “Будинку якості” ?
34.	Дати означення кваліметрії.	70.	Що таке чотири етапи відстеження “голосу споживача” ?
35.	Що таке шкали оцінювання ?	71.	Що називається “бенчмаркінгом” ?
36.	Що таке шкали вимірювання?	72.	Яку роль відіграє бенчмаркінг в управлінні якістю ?



## ВИСНОВКИ

У цьому посібнику здійснена спроба викласти основи управління якістю студентам технічних спеціальностей. Головною інтенцією (направленістю) змісту книги є теоретико-методологічні аспекти становлення та розвитку теорії якості, її взаємозв'язок з фундаментальними, прикладними та технічними дисциплінами, а також з менеджментом і маркетингом.

Ця книга присвячена сутності концепцій управління якістю та ретроспектив їх розвитку. У ній розглянуті основні принципи створення прогресивних систем менеджменту якості, а також методи і засоби, що забезпечують їх ефективне функціонування. Якісний виріб (продукція) має сукупність властивостей і характеристик, які надають йому здатність задовольняти обумовлені або передбачені потреби споживачів (користувачів). Показана значимість якості виробів і послуг у постіндустріальну (інформаційну) епоху розвитку суспільства.

Автори намагалися викласти своє бачення проблем якості для того, щоб спонукати студентів до обговорення викладених оцінок того, що вже досягнуто і які повчальні уроки можна почерпнути з минулого досвіду управління якістю для досягнення майбутніх цілей.

Матеріал даного навчального посібника показує, що нині в галузі якості вже є адекватний наявним проблемам теоретичний базис, існує досить широкий спектр відповідних принципів, методів і прийомів.

Акцент у посібнику поставлений на сучасній методології управління якістю, яка використовує чималий арсенал сучасних загальнонаукових теорій та методів дослідження, які включають теорію систем, системний аналіз з його ядром – системним підходом, теорія прийняття рішень, структурний, синергетичний функціональний, процесний, ситуаційний, та інші наукові підходи. Увагу також приділено методам теорії ймовірностей та математичної статистики.

На фоні базової концепції “Загальне управління якістю” (TQM), розглянуто та розкрито сутність статистичних методів та інструментів контролю якості, процесу розгортання функції якості (QFD), методів забезпечення та підвищення якості.

Значна увага приділяється теорії технічних систем. Зміст посібника пронизує ключова ідея, яка полягає в тому, що технічні системи є носії якості та соціальних потреб. До якості їх виготовлення пред'являються все більш високі вимоги, тому що технічні системи безперервно вдосконалюються та ускладнюються.

У моделях TQM і в підходах до створення систем менеджменту якості, встановлених стандартами ISO серії 9000: 2000, якість розглядається як фактор, що дозволяє порівнювати різні альтернативи в діяльності організацій. Вважаючи важливість цього, автори приділили увагу організаційним (виробничим) системам, їх розвитку, питанням управління в цих системах. Показана роль сучасних інтелектуальних систем керування організаційно-технічними системами.

Важливість вивчення студентами основ менеджменту якості підкреслюється тим фактом, що **XXI століття – епоха не тільки інформаційно-комунікаційних технологій, а й епоха глобальної якості.**

Досвід розвитку світової економіки показує, що необхідною умовою її прогресу є пильна увага до питань якості продукції та послуг.

Особливо чітко це простежується на прикладі розвитку Японії після Другої світової війни. Використавши ідеї Е. Демінга і Дж. Джуран, в Японії були глибоко розвинуті та удосконалені методи та технології управління якістю, і вже до 1970-х років японська продукція почала завойовувати світові ринки. Це дозволило Японії при повній відсутності сировинних ресурсів перебувати ось уже більше 50 років в числі трьох найбільш промислово розвинених країн у світі.

Багато в чому успіхи Японії змусили розвинені країни Європи та США серйозно зайнятися проблемами якості продукції та послуг.

Поєднання категорій якості та інформації надає принципово новий характер сучасній цивілізації. У цьому зв'язку розкрита неоціненна роль вчених ("туру якості"), які створювали та розвивали теорію якості.

У даному навчальному посібнику розглянуті найбільш відомі та ефективні засоби управління якістю. Їх широке використання в промисловості України дозволить, як сподіваються автори, істотно поліпшити якість і конкурентоспроможність продукції, а також підвищити ефективність національного виробництва.



## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ТА РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Азгальдов Г.Г. Теория и практика оценки качества товаров (основы квалиметрии) / Г. Г. Азгальдов. – М.: Экономика, 1982. – 256 с.
2. Айвазян С.А. Прикладная статистика: Основы моделирования и первичная обработка данных / С.А. Айвазян, И.С. Енюков, Л.Д. Мешалкин. – М.: Финансы и статистика, 1983. – 471 с.
3. Айламазян А.К. Информация и теория развития / А.К. Айламазян, Е.В. Стась. – М.: Наука, 1989. – 174 с.
4. Акимов В.П. Основы теории игр: учебное пособие / В.П. Акимов. – М.: МГИМО-Университет, 2008. – 156 с.
5. Акофф Р. Л. Искусство решения проблем / Р. Л. Акофф; пер. с англ. Е.Г. Коваленко; под ред. Е.К. Масловского. – М.: Мир, 1982. – 224 с.
6. Алексеев В. П. Нелинейно-литологические эссе: монография / В. П. Алексеев. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2013. – 250 с.
7. Алексеев Г.Н. Энергоэнтропика / Г. Н. Алексеев. – М.: Знание, 1983. – 192 с.
8. Амиров Ю.Д. Научно-техническая подготовка производства / Ю.Д. Амиров. – М.: Экономика, 1989. – 230 с.
9. Анализ нечисловой информации в социологических исследованиях: монография / В.Г. Андреевков, А.И. Орлов, Ю.Н.Толстова и др. – М.: Наука, 1985. – 224 с.
10. Андрианов Ю.М. Квалиметрия в приборостроении и машиностроении / Ю.М. Андрианов, А.И. Субетто. – Л.: Машиностроение, 1990. – 216 с.
11. Ансофф И. Стратегическое управление / Игорь Ансофф. – М.: Экономика, 1989. – 519 с.
12. Арнаутов В.И. Кардинальные и трансфинитные числа: курс лекций / В.И. Арнаутов, Г.Н. Ермакова. – Chişinău: Изд-во Молдавского гос.ун-та, 2008. – 78 с.
13. Арнольд В.И. Теория катастроф / В.И. Арнольд. – М.: Наука, 1990. – 128 с.
14. Барабанова О.А. Семь инструментов управления качеством / О.А. Барабанова, В.А. Васильев, П.В. Москалев. – М.: ИЦ «МАТИ», РГТУ им. Циолковского, 2001 – 43 с.
15. Басовский Л.Е. Управление качеством: учебник / Л.Е. Басовский, В.Б. Протасьев. – М.: ИНФРА-М, 2015. – 253 с.
16. Беллман Р. Принятие решений в расплывчатых условиях / Вопросы анализа и процедуры принятия решений: сб. статей; пер. с англ.; под ред. И.Ф. Шахнова / Р. Беллман, Л. Заде. – М.: Мир, 1976. – С. 172-215.
17. Берка К. Измерения: Понятия, теории, проблемы / К. Берка; пер с чешск. К. Иванова. – М.: Прогресс, 1987. – 320 с.
18. Берталанфи Л. Общая теория систем. Обзор проблем и результатов / Л. Берталанфи // Систем. исслед.: ежегодник. – М.: Наука, 1969. – С. 30–54.
19. Бешелев С.Д. Математико-статистические методы экспертных оценок / С.Д. Бешелев, Ф.Г. Гурвич. – М.: Статистика, 1980. – 263 с.
20. Бичківський Р.В. Метрологія, стандартизація, управління якістю і сертифікація: підручн. / Р.В. Бичківський, П.Г. Столярчук, П.Р. Гамула. – Львів: Вид.-во Нац. ун-ту «Львівська політехніка», 2004. – 500 с.
21. Бір Ст. Кибернетика и управление производством / Ст. Бір; пер. с англ. В.Я. Алтаева.– М.: Физматгиз, 1963. – 275 с.
22. Блауберг И. В. Становление и сущность системного подхода / И. В. Блауберг, Э.Г. Юдин. – М.: Наука, 1973. – 270 с.
23. Боженко Л.І. Метрологія, стандартизація, сертифікація та акредитація: навч. посібник / Л.І. Боженко. – Львів: Афіша, 2006. – 324 с.
24. Бондар О.В. Ситуаційний менеджмент: навч. посібник / О.В. Бондар. – К.: Центр учбової літератури, 2010. – 326 с.
25. Борисенко О.А. Керуючі системи: навч. посібник / О.А. Борисенко. – К.: Центр навчальної літератури, 2004. – 216 с.
26. Брагин Ю.В. Путь QFD: проектирование и производство продукции исходя из ожиданий потребителей / Ю.В. Брагин, В.Ф. Корольков. – Ярославль: «Центр качества», 2003. – 240 с.
27. Бриллюэн Л. Наука и теория информации / Л. Бриллюэн: [пер. с англ. А.А. Харкевича]. – М.: Гос. Из-во физ.-мат. литературы, 1960. – 392 с.

28. Бурлачук Л.Ф. Словарь-справочник по психологической диагностике / Л.Ф. Бурлачук, С.М. Морозов. – К.: Наукова думка, 1989. – 200 с.
29. Бутинець Ф.Ф. Інформаційні системи бухгалтерського обліку: підручник / Ф.Ф. Бутинець. – Житомир: ПП «Рута». 2012. – 520 с.
30. Быстрой Г.П. Неравновесные системы: целостность, эффективность, надежность / Г.П. Быстрой, Д.В. Пивоваров. – Свердловск: Изд-во Урал. ун-та, 1989. – 192 с.
31. Вайсман А. Стратегия маркетинга: десять шагов к успеху. Стратегия менеджмента: пять факторов успеха / А. Вайсман; пер. с нем. – М.: Экономика, 1995. – 344 с.
32. Валь О.Д. Теорія ймовірностей...від найпростішого: навч. посібник / О.Д. Валь, С.В. Мельничук, С.Л. Королюк. – Чернівці: Книги – XXI, 2005. – 160 с
33. Вейнеров О.М. Проектирование баз данных САПР: учеб. пособ.[для студ.высш.учеб.завед.] / О.М. Вейнеров, Э.Н. Самохвалов. – М.: Высш. шк.,1990. – 144 с.
34. Вендров А.М. Проектирование программного обеспечения экономических информационных систем: учеб. пособ. / А.М. Вендров.– М.: Финансы и статистика, 2006. – 314 с.
35. Гаврилова Т.А. Базы знаний интеллектуальных систем: учеб. пособ. [для студ. вузов] / Т.А. Гаврилова, В.Ф. Хорошевский. – СПб: Питер, 2000. – 384 с.
36. Гагарина Л.Г. Современные проблемы информатики и вычислительной техники: учеб. пособие / Л.Г. Гагарина, А.А. Петров. – М.: ИД «ФОРУМ»: ИНФРА-М, 2011. – 368 с.
37. Гегель Г. Сочинения в 14 томах. Т.1. Энциклопедия философских наук / Г. Гегель [перевод Б. Г. Столпнера и др.]. – М.-Л., 1929, С. 157.
38. Гласс Дж. Статистические методы в педагогике и психологии / Дж. Гласс, Дж.Стэнли; пер. с англ. – М.: Прогресс, 1976. – 495 с.
39. Гліненко Л.К. Основи моделювання технічних систем: навч. посібник / Л.К. Гліненко, О.Г. Сухоносов. – Львів: Вид-во «Бескид Біт», 2003. – 176 с.
40. Гнеденко Б.В. Курс теории вероятностей / Б.В. Гнеденко. – М.: Наука, 1965. – 400 с.
41. Голибардов Е.И. Техника ФСА / Е.И. Голибардов, А.В. Кудрявцев, М.И. Синенко. – К.: Техніка, 1989.– 239 с.
42. Голубенко А.Л. Теория технических систем: уч. пособие / А.Л. Голубенко, А.С. Петров, А.Л. Кашура. – К.: Арістей, 2005. – 240 с.
43. Гончарова Н.П. Новые технологические системы: качество, потребность, эффективность / Н.П. Гончарова, П.Г. Перерва, А.И. Яковлев. – К.: Наук. думка, 1989. – 176 с.
44. Горелова В.Л. Основы прогнозирования систем: уч. пособие / В.Л. Горелова, Е.Н. Мельникова. – М.: Высшая школа, 1986. – 287 с.
45. ГОСТ 27.002 - 89 “Надійність в техніці. Основні поняття. Терміни та визначення”
46. Гродзенский С.Я. Менеджмент качества: уч. пособие /С.Я.Гродзенский. – М.: ООО «Проспект», 2015. –191 с.
47. Громов Г.Р. Программирование: ремесло, наука, искусство, технология // Микропроцессорные средства и системы. – 1985. – №1. – С.44 – 49.
48. Давидова О.Ю. Управління якістю продукції та послуг у готельно-ресторанному господарстві: навч. посібник / О.Ю. Давидова, І.М. Писаревський, Р.С. Ладиженська. – Х.: ХНАМГ, 2012. – 414 с.
49. Данчул А.Н. Системотехнические задачи создания САПР / Разработка САПР. В 10 кн. Кн. 2./ А.Н. Данчул, Л.А. Полуян. – М.: Высш. шк., 1990. – 144 с.
50. Девятков В.В. Системы искусственного интеллекта: уч. пособие / В.В. Девятков. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. – 352 с.
51. Деминг, У.Э. Выход из кризиса: Новая парадигма управления людьми, системами и процессами / У. Эдвард Деминг; пер. с англ.; под. ред. Ю. Адлера, Ю. Рубаник, В. Шпер. – М.: Альпина Бизнес Букс, 2007. – 370 с.
52. Джексон П. Введение в экспертные системы / Питер Джексон; пер. с англ. В.Т.Тертышного. – М.: Изд. дом. “Вильямс”, 2001. – 624 с.
53. Джуран Дж. Качество в истории цивилизации. Эволюция, тенденции и перспективы управления качеством / Дж. Джуран. – М.: РИА "Стандарты и качество", 2004. – 208 с.
54. Дорогов В.Г. Введение в методы и алгоритмы принятия решений / В.Г. Дорогов, Я.О. Теплова: учеб. пособие; под ред. Л.Г. Гагариной. – М.: ИД «ФОРУМ», 2012. – 240 с.
55. Дружинин В.В. Системотехника / В.В. Дружинин, Д.С. Конторов.– М.: Радио и связь,1985. – 200 с.
56. Дубина И.Н. Математико-статистические методы в эмпирических социально-экономических исследованиях / И.Н. Дубина. – М.: Финансы статистика; ИНФРА-М. – 2010. – 416 с.
57. Дудник І.М. Вступ до загальної теорії систем: навч. посібник / І.М. Дудник. – К.: Кондор, 2009. – 205 с.

58. ДСТУ 3816-98 [ISO10013:1995 (E)]. Керівні вказівки щодо розроблення настанов з якості.
59. ДСТУ 2861-94. Надійність техніки. Аналіз надійності. Основні положення.
60. ДСТУ 2862-94. Надійність техніки. Методи розрахунку показників надійності. Загальні вимоги.
61. ДСТУ 3433-96 (ГОСТ27.005-97). Надійність техніки. Моделі відмов. Основні положення.
62. ДСТУ 3942-2000 (ГОСТ 27.506-2000). Надійність техніки. Плани випробувань для контролю середнього наробітку до відмови (на відмову).
63. ДСТУ 3524-97 (ГОСТ 27.205-97). Надійність техніки. Проектна оцінка надійності складних систем з урахуванням технічного і програмного забезпечення та оперативного персоналу. Основні положення.
64. ДСТУ 2863-94. Надійність техніки. Програма забезпечення надійності. Загальні вимоги.
65. ГОСТ 27.002 - 89 "Надійність в техніці. Основні поняття. Терміни та визначення"
66. ДСТУ 2860-94. Надійність техніки. Терміни та визначення.
67. ДСТУ ISO 10011.1-97 (2-97)(3-97). Настанови щодо перевірки систем якості.
68. ДСТУ ISO 9000:2015. Системи управління якістю. Основні положення та словник термінів (ISO 9000:2015, IDT). Чинний з 01.01.2016 р. – К.: ДП НДІ «Система», 2015.
69. ДСТУ ISO 9001:2015. Системи управління якістю. Вимоги (ISO 9001:2015, IDT). Чинний з 01.01.2016 р. – К.: ДП НДІ «Система», 2015.
70. ДСТУ ISO 9004:2009. Системи управління якістю. Настанови щодо поліпшення діяльності. – К.: Держспоживстандарт України, 2009.
71. ДСТУ ISO 9004:2012. Управління задля досягнення сталого успіху організації. Підхід на основі управління якістю (ISO 9004:2009, IDT). Чинний з 01.05.2013 р. – К.: ДП НДІ «Система», 2013.
72. ДСТУ ISO 14004-97. Системи управління навколишнім середовищем. Загальні настанови щодо принципів управління, системи та засобів забезпечення Введено 18.08.97. – Держстандарт України, 1997. – 38. с.
73. Дубинский В.В. Теория технических систем: конспект лекций / В.В. Дубинский, А.С. Игнатьев. – Суми: Сумський держ. ун-т, 2015. – 48 с.
74. Дубинский И.М. Стандартизация, что это такое / И.М. Дубинский. – М.: Недра, 1983. – 77 с.
75. Дьяконов В.П. MATLAB 6.5SP1/7/7 SP1/7 SP2 +Simulink 5/6. Инструменты искусственного интеллекта и биоинформатики / В.П. Дьяконов, В.В. Круглов. – М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2006. – 456 с.
76. Егоров Ю.Л. Система, структура, функция / Ю.Л. Егоров, М.Х. Хасанов // Философские науки. – 1978. – № 5. – С. 38-47.
77. Екатеринославский Ю.Ю. Управленческие ситуации: анализ и решения /Ю.Ю. Екатеринославский. – М.: Экономика, 1988. – 191 с.
78. Жилинскас А.Г. Поиск оптимума: компьютер расширяет возможности / А.Г. Жилинскас, В.Р. Шалтянис. – М.: Наука, 1989. – 128 с.
79. Заболоцький М.В. Математичний аналіз: [підручник] / М.В. Заболоцький, О.Г. Сторож, С.І. Тарасюк. – К.: Знання, 2008. – 421 с.
80. Заде Л.А. Понятие лингвистической переменной и его применение для принятия приближенных решений / Л.А. Заде. – М.: Мир, 1976. – 165 с.
81. Зайцев Є.П. Теорія ймовірностей і математична статистика: навч. посібн. / Є.П. Зайцев. – К.: Алерта, 2013. – 440 с.
82. Закон України «Про вищу освіту» // Відомості Верховної Ради України. – 2014. – № 37-38 (інтернет-редакція від 01.01.2017 р.).
83. Згуровський М.З. Основи системного аналізу / М.З. Згуровський, Н.Д. Панкратова. – К.: Видавнична група ВНУ, 2007. – 544 с.
84. Зеґет В. Элементарная логика / В. Зеґет; пер. с нем. И.М. Морозовой. – М.: Высш. школа, 1985. – 256 с.
85. Зуб А.Т. Принятие управленческих решений . Теория и практика: учеб. пособие / А.Т. Зуб. – М.: ИД «ФОРУМ», ИНФРА-М, 2010. – 400 с.
86. Интеллектуальные системы управления организационно-техническими системами: монография / [А.Н. Антамошин, О.В. Близнова, А.В. Бобов и др.]. – М.: Горячая линия – Телеком, 2006. – 156 с.
87. Иозайтис В.С. Экономико-математические моделирование производственных систем: уч. пособие / В.С. Иозайтис, Ю.А. Львов. – М.: Высшая школа, 1991. – 192 с.
88. Исикава К. Японские методы управления качеством / К. Исикава; сокр. пер. с англ.; под ред. А.В. Гличева. – М.: Экономика, 1988. – 215 с.
89. Искусственный интеллект. – В 3-х кн. Кн. 1. Системы общения и экспертные системы: Справочник / Под ред. Э.В. Попова. – М.: Радио и связь, 1990. – 464 с.
90. Искусственный интеллект. – В 3-х кн. Кн. 2. Модели и методы: Справочник / Под ред. Д.А. Поспелова. – М.: Радио и связь, 1990. – 304 с.



91. Кантор Г. Труды по теории множеств / Г.Кантор; пер. с нем. Ф.А.Медведева и П.С.Юшкевича; под ред. А.Н. Колмогорова. – М.: Наука, 1985. – 430 с.
92. Калита П.Я. Системы качества и международные стандарты ИСО серии 9000 / П.Я. Калита. – К.: Украинская ассоциация качества, 2006. – 181 с.
93. Каменев А.Ф. Технические системы: закономерности развития / А.Ф. Каменев. – Л.: Машиностроение, 1985. – 216 с.
94. Капінос Г.І. Управління якістю: навч. посібник / Г.І. Капінос, І.В. Грабовська. – К.: Кондор-Видавництво, 2016. – 278 с.
95. Картавов С.А. Математические термины: Справочно-библиографический словарь / С.А. Картавов. – К.: Вища школа, 1988. – 295 с.
96. Кириченко Л.С. Сертифікація та якість продукції в сучасних умовах господарювання / Л.С. Кириченко, Н.М., Чернухіна. – Львів, 2005. – 215 с.
97. Клини С.К. Математическая логика / С.К. Клини; [пер. с англ. Ю.А. Гастева; под. ред. Г.Е. Минца]. – М.: Изд.-во «Мир», 1973. – 481 с.
98. Клир Дж. Системология. Автоматизация решения системных задач / Дж. Клир [пер. с англ. М.А. Зуева; под ред. А.И. Горлина ]. – М.: Радио и связь, 1990. – 544 с.
99. Козицький В.А. Основи математичної економіки. Теорія споживання / В.А. Козицький, С.П. Лавренюк, М.О. Оліскевич. – Львів: Піраміда, 2004. – 343 с.
100. Комплекс нормативних документів для розробки складових системи стандартів вищої освіти. Додаток до Наказу Міністерства України від 31.07.1998 р., № 285. – К.: Ін-т змісту і методів навчання, 1998. – 68 с.
101. Конверський А.Є. Логіка (традиційна та сучасна): підручник / А.Є. Конверський. – К.: Центр учбової літератури, 2008. – 536 с.
102. Котлер Ф. Основы маркетинга / Ф. Котлер: [ пер. с англ. В.Б. Боброва; под общ. ред. и вступ. ст. Е.М. Пеньковой]. – М.: Прогресс, 1991. – 736 с.
103. Костюченко М.П. Аналіз процесів у педагогічній системі / М.П. Костюченко // Наукові праці ВНЗ “ДонНТУ”. Серія: Педагогіка, психологія і соціологія. – 2015. – № 2 (17). – С. 78 – 92.
104. Костюченко М.П. Виробничий ризик. Ч. 1. Онтологічний аспект / М.П. Костюченко, Є.І. Конопелько // Вісті Донецького гірничого інституту: Всеукраїнський наук.-техніч. журнал. – 2013. – № 2 (33). – С. 65 – 74.
105. Костюченко М.П. Виробничий ризик. Ч. 2. Онтологічно-концептуальний аналіз кількісних ознак категорії “виробничий ризик / М.П. Костюченко, С.В. Подкопаєв // Вісті Донецького гірничого інституту: Всеукраїнський наук.-техніч. журнал. – 2014. – №1-2 (35-36). – С. 65 – 74.
106. Костюченко М.П. Дидактичне проектування в системі навчання охорони праці / М.П. Костюченко, В.Г. Здановський // Проблеми охорони праці в Україні: зб. наук. праць Національного науково-дослідного інституту промислової безпеки та охорони праці. – 2011. – Вип. 21. – С. 125 – 137.
107. Костюченко М.П. Дослідження проблеми квантифікації й оцінювання особистих знань / М.П. Костюченко // Проблеми інженерно-педагогічної освіти: зб. наук. праць. – Харків: УПА, 2010. – Вип. 26 – 27. – С. 77 – 90.
108. Костюченко М.П. Закономерности функционирования и развития технических систем / М.П. Костюченко. – Донецк, 1992. – 56 с. – Деп. в Укр. ИНТЭИ 12.08.92., № 1213 – Ук. 92 // Библ. указ. ВИНТИ № 11 (253), б/о 399, 1992.
109. Костюченко М.П. Змістовно-статистичний аналіз результатів самооцінювання фахових знань педагогічними працівниками ПТНЗ електроенергетичного профілю / М.П. Костюченко // Проблеми інженерно-педагогічної освіти: зб. наук. праць. – Харків: УПА, 2011. – Вип. 30 – 31. – С. 48 – 62.
110. Костюченко М.П. Інформаційні аспекти наукового дослідження / М.П. Костюченко // Вісті Донецького гірничого інституту: Всеукраїнський науково-технічний журнал. – 2016. – № 1 (38). – С. 127– 138.
111. Костюченко М.П. Інформаційно-кібернетичні та психолого-дидактичні аспекти проектування експертно-навчальних систем / М.П. Костюченко // Штучний інтелект. – 2013. – № 4 (62) – С. 127 – 138.
112. Костюченко М.П. Классификация и анализ технических систем (системно-кибернетический подход) / М.П. Костюченко. – Донецк, 1992. – 41 с. – Деп. в Укр. ИНТЭИ 12.08.92., № 1212-Ук.92 // Библ. указ. ВИНТИ № 11 (253), б/о 398, 1992.
113. Костюченко М.П. Опыт изучения уровней профессиональной подготовленности инженерно-педагогических работников профтехучилищ до учебы в институте повышения квалификации / М.П. Костюченко. – 34 с. – Деп. в ВНИИ ПТО 15.11.88, № 119 // Указат. ведомств. матер., 1988, № 12.

114. Костюченко М.П. Основи охорони праці, охорона праці в галузі. Ч. 1. Загальні питання та менеджмент охорони праці: навч. – метод. посібник. – Донецьк: Вид-во ППШ “Наука і освіта”, 2010. – 161 с.
115. Костюченко М.П. Проектування ієрархії цілей професійної підготовки кваліфікованих робітників / М.П. Костюченко // Проблеми інженерно-педагогічної освіти: зб. наук. праць. – Харків: УПА, 2008. – Вип. 20. – С. 42 – 56.
116. Костюченко М.П. Развитие информационных технологий обучения в свете концепции “Семи И” / М.П. Костюченко // Междун. заоч. научно-практ. конф. “Различные аспекты инновационной деятельности в современной науке, экономике, образовании, культуре”, 25-26 ноября 2013 г.: матер. – Ростов-на-Дону: Науч.- изд. центр “Summa-Rerum”, 2013. – С. 40 – 43.
117. Костюченко М.П. Реформування структури кваліфікацій на основі стандартів компетентності у професійній освіті // Педагогіка і психологія професійної освіти. – 2010. – №3. – С.139 –152.
118. Костюченко М.П. Сучасний стан і перспективи розвитку електроенергетики й електротехнічної промисловості: [навч.-методич. посібник] / М.П. Костюченко. – Донецьк: ДПО ІПП, 2005. – 97 с.
119. Костюченко М.П. Философско-синергетический анализ развития систем / М.П. Костюченко.– 48 с. – Деп. в Укр. ИНТЭИ 12.08.92., № 1214-Ук. 92 // Библиограф. указ. ВИНТИ, № 11 (253), б/о 400, 1992.
120. Кох Р. Менеджмент и финансы от А до Я / Ричард Кох. – СПб.: Изд-во «Питер», 1999. – 496 с.
121. Кросби Ф. Качество бесплатно / Ф. Кросби. – М.: МГИУ, 1998. – 130 с.
122. Кунц Г. Управление: системный и ситуационный анализ управленческих функций. В 2-х тт. / Г. Кунц, О' Доннел.; пер. с англ. В.В. Рославцев, Ю.Б.Семенов; под общ. ред Д.М.Гвишиани. – М.: Высшая школа, 1981. – 496 с.
123. Кузин Л.Т. Основы кибернетики: В 2-х т. Т. 2. Основы кибернетических моделей / Л.Т. Кузин. – М.: Энергия, 1979. – 584 с.
124. Кузнецова В.Л. Самоорганизация в технических системах / В.Л. Кузнецова, М.А. Раков: [монография]. – К.: Наук. думка, 1987. – 200 с.
125. Лapidус В. А. Система Шухарта / В. А. Лapidус. – Н. Новгород: СМЦ «Приоритет», 2004. – 65 с.
126. Ларичев О.И. Теория и методы принятия решений, а также Хроника событий в Волшебных странах:учебник / О.И. Ларичев. – М.: Логос, 2002. – 392 с.
127. Лефевр В.А. Конфликтующие структуры / В.Д. Лефевр. – М.: Сов. радио, 1973. – 158 с.
128. Лямец В.И. Системный анализ. Вводный курс: учебное пособие / В.И. Лямец, А.Д. Тевяшев. – Харьков: ХНУРЕ, 2004. – 448 с.
129. Мамиконов А.Г. Принятие решений и информация / А.Г. Мамиконов. – М.: Наука, 1983. – 184 с.
130. Маркс К. Капитал . Соч. – 2-е изд. – Т. 23 / К. Маркс, Ф. Энгельс. – М.: Гос. изд-во полит. лит-ри, 1960. – 907 с.
131. Мартыненко Н.М. Менеджмент фирмы. Книга для предпринимателя / Н.М. Мартыненко. – К.: МП «Леся», 1995. – 368 с.
132. Международный стандарт ИСО 8402-1994. Управление качеством и обеспечение качества. – Словарь.
133. Месарович М. Общая теория систем: математические основы / М. Месарович, Я. Такаха; под ред. С. В. Емельянова. – М.: Мир, 1972. – 702 с.
134. Мескон М.Х. Основы менеджмента / М.Х. Мескон, М. Альберт, Ф. Хедоури; пер. с англ. и вступ. ст. Л.И. Евенко. – М.: Изд-во «Дело», 1997. – 702 с.
135. Минский М. Фреймы для представления знаний /Марвин Минский; пер. с англ. О.Н.Гринбаума. – М.: Энергия, 1979. – 152 с.
136. Миркин Б.Г. Анализ количественных признаков и структур / Б.Г. Миркин. – М.: Статистика, 1980. – 319 с.
137. Михайлов В.С. Теория управления / В.С. Михайлов. – К.: Вища школа, 1988. – 312 с.
138. Мишин В.М. Управление качеством: уч. пособие / В.М. Мишин. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2002. – 303 с.
139. Моисеев Н.Н. Алгоритмы развития / Н.Н. Моисеев. – М.: Наука, 1987. – 303 с.
140. Моисеев Н.Н. Математические задачи системного анализа / Н. Н. Моисеев. – М.: Наука, 1981. – 488 с.
141. Михеев В.И. Моделирование и методы теории измерений в педагогике: науч.-метод. пособие / В.И. Михеев. – М.: Высш.школа, 1987. – 200 с.
142. Молчанов А.А. Моделирование и проектирование сложных систем / А.А. Молчанов. – К.: Вища школа, 1988. – 359 с.
143. Монден Я. Система менеджмента Тойоты: текст; пер. с англ. – М.: Институт комплексных стратегических исследований, 2007. – 216 с.
144. Моргенштерн О. Теория игр и экономическое поведение / О. Моргенштерн, Дж. фон Нейман; пер. с англ. – М.: Книга по Требованию, 2012. – 708 с.

145. Мороз В.И. Метрологія, стандартизація і сертифікація: навч. посіб. / В.И. Мороз, В.Г. Єгоров, В.К. Смагта ін. – Х.: ХарДАЗТ, 2000. – 77 с.
146. Мюллер И. Эвристические методы в инженерных разработках / Мюллер И.; пер. с нем.; под ред. А.И. Половинкина. – М.: Радио и связь, 1984. – 144 с.
147. Надежность и эффективность в технике: Справочник: В 10 тт. Т.1. Методология. Организация. Терминология [под ред. А.И.Рембезы]. – М.: Машиностроение, 1986.– 224 с.
148. Нейман Дж. фон. Теория игр и экономическое поведение / Дж. фон. Нейман, О. Моргенштерн [пер. с англ.]. – М.: Наука, 1970. – 625 с.
149. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта; под ред. Д.А. Поспелова. – М.: Наука, 1986. – 395 с.
150. Николаев В.И. Системотехника: методы и приложения / В.И. Николаев, В.М. Брук. – Л.: Машиностроение, 1985. – 199 с.
151. Новая философская энциклопедия в 4-х тт. Т.1. / Ин-т философии РАН; науч.-ред. совет: предс. В.С. Степин. – М.: Мысль, 2010. – 744 с.
152. Новая философская энциклопедия в 4-х тт. Т.2. / Ин-т философии РАН; науч.-ред. совет: предс. В.С. Степин. – М.: Мысль, 2010. – 637 с.
153. Новая философская энциклопедия в 4-х тт. Т.3. / Ин-т философии РАН; науч.-ред. совет: предс. В.С. Степин. – М.: Мысль, 2010. – 695 с.
154. Новая философская энциклопедия в 4-х тт. Т.4. / Ин-т философии РАН; науч.-ред. совет: предс. В.С. Степин. – М.: Мысль, 2010. – 736 с.
155. Норенков И.П. САПР. Принципы построения и структура / И. П. Норенков // Системы автоматизированного проектирования: В 9 кн. Кн. 1. – М.: Высш. шк., 1986. – 127 с.
156. Общий курс высшей математики для экономистов: учебник / Б.М. Рудык, В.И.Ермаков, В.И. Матвеев [и др.]; под. ред. В.И.Ермакова. – М.: ИНФРА –М, 2007. – 656 с.
157. Окрепилов В.В. Всеобщее управление качеством: учебник / В.В. Окрепилов. – М.: Экономика, 1998. – 454 с.
158. Основы менеджменту / [Федоренко В.Г., Діденко О.М., Бондаренко Є.В. та ін.]; за ред. В.Г. Федоренка. – К.: Алерта, 2007. – 420 с.
159. Павлов В.В. Системы человек – машина: проблемы синтеза / В.В. Павлов. – К.: Вища школа, 1987. – 55 с.
160. Паниотто В.И. Количественные методы в социологических исследованиях: монография / В.И. Паниотто, В.С. Максименко. – К.: Наукова думка, 1982. – 272 с.
161. Паркинсон С.Н. Законы Паркинсона / С.Н. Паркинсон; пер. с англ.; сост. и автор предисловия В.С. Муравьев. – М.: – Прогресс, 1989. – 448 с.
162. Перегудов Ф.И. Введение в системный анализ: учеб. пособ.[для студ. высш. учеб. завед.] / Ф.И. Перегудов, Ф.П. Тарасенко.– М.: Высш. шк., 1989. – 367 с.
163. Платонов К.К. Краткий словарь системы психологических понятий. – М.: Высш. шк., 1984. – 174 с.
164. Полищук Ю.М. Теория автоматизированных банков информации / Ю.М. Полищук, В.Б. Хон. – М.: Высш. шк., 1989. – 184 с.
165. Половинкин А.И. Основы инженерного творчества / А.И. Половинкин: учеб. пособие. – М.: Машиностроение, 1988. – 368 с.
166. Поппер К. Логика и рост научного знания / Карл Раймунд Поппер; пер. с англ. под. общ. ред. В.Н.Садовского. – М.: Наука, 1983. – 328 с.
167. Поспелов Д.А. Ситуационное управление: теория и практика / Д.А. Поспелов. – М.: Наука, 1986. – 288 с.
168. Поспелов Д.А. Фантазия или наука: на пути к искусственному интеллекту / Д.А. Поспелов. – М.: Наука, 1982. – 224 с.
169. Прайд В. Феномен NBIC-конвергенции: Реальность и ожидания / Валерия Прайд, Д.А. Медведев // Философские науки. – 2008. – № 1. – С. 97-117
170. Пригожин И. Порядок из хаоса: Новый диалог человека с природой / И. Пригожин, И. Стенгерс. – М.: Прогресс, 1986. – 432 с.
171. Пфанцагль И. Теория измерений / И. Пфанцагль: пер. с англ. В. Б. Кузьмина. – М.: Мир, 1976. – 248 с.
172. Рабочая книга по прогнозированию / [Араб-Оглы Э.А., Бестужев-Лада И.В., Гаврилов Н.Ф. и др.]; отв. ред. И.В. Бестужев-Лада. – М.: Мысль, 1982.– 430 с.
173. Рассел Б. Человеческое познание / Б. Рассел; пер. с англ. Н.В. Воробьева; науч. ред. Э. Кольман. – К.: Ника- Центр, 1997.– 560 с.

174. Раяцкас Р.Л. Количественный анализ в экономике / Р.Л. Раяцкас, М.К. Плакунов. – М.: Наука, 1987. – 392 с.
175. Розова Н.К. Управление качеством: учебное пособие / Н.К. Розова. – СПб.: Питер, 2003. – 224 с.
176. Рыбина Г.В. Основы построения интеллектуальных систем: учеб. пособие / Г.В. Рыбина. – М.: Финансы и статистика; ИНФРА-М, 2010. – 432 с.
177. Рыков А.С. Модели и методы системного анализа: принятие решений и оптимизация: учеб. пособие для вузов / А.С. Рыков. – М.: Изд. дом «Руда и металлы», 2005. – 352 с.
178. Руденко В.М. Математична статистика: навч. посібник / В.М. Руденко. – К.: Центр учбової літератури, 2012. – 304 с.
179. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий / Т. Саати; пер. с англ. Р.Г. Вачнадзе. – М.: Радио и связь, 1993. – 278 с.
180. Саранча Г.А. Метрологія, стандартизація, відповідність, акредитація та управління якістю: підручник / Г.А. Саранча. – К.: Центр навчальної літератури, 2006. – 672 с.
181. Саркисян С.А. Научно-техническое прогнозирование и программно-целевое планирование в машиностроении / С.А. Саркисян, П.Л. Акопов, Г.В. Мельникова. – М.: Машиностроение, 1987. – 304 с.
182. Сигорский В.П. Математический аппарат инженера / В.П. Сигорский. – К.: Техніка, 1975. – 768 с.
183. Синай Я.Г. Современные проблемы эргодической теории / Я.Г. Синай. – М.: Физматлит, 1995. – 208 с.
184. Системи управління якістю ВНЗ: теорія і практика / О.І. Волков, Л.М. Віткін, Г.І. Хімічева, А.С. Зенкін. – К.: Наук. думка, 2005. – 285 с.
185. Словарь по кибернетике: [под ред. В.С. Михайлевича]. – К.: Гл. ред. УСЭ им. М.П. Бажана, 1989. – 680 с.
186. Словарь прикладной социологии / сост. К.В. Шульга. – Минск: Изд-во «Университетское», 1984. – 317 с.
187. Советов Б.Я. Моделирование систем: [учебник для вузов] / Б.Я. Советов, С.А. Яковлев. – М.: Высшая школа, 2007. – 343 с.
188. Старіш О.Г. Системологія: підруч. / О.Г. Старіш. – К.: Центр навч. літератури, 2005. – 232 с.
189. Суппес П. Основы теории измерений / П. Суппес, Дж. Зинес // Сборник «Психологические измерения»; пер. с англ. Е.Ю. Артемьевой; под ред. Л.Д. Мешалкина. – М.: Мир, 1967. – С. 9–119.
190. Тагути Г. Оптимальное проектирование как техника качества [Текст] / Тагути Г., Фадке М. // Методы менеджмента качества. – 2003. – №9. – С. 27–35.
191. Тайити Оно. Производственная система Тойоты: уходя от массового производства / Оно Тайити; предисл. В. Болтрукевича. – М.: Изд-во ИКСИ, 2005. – 208 с.
192. Тевяшев А.Д. Основы дискретной математики: учебн. пособие / А.Д. Тевяшев, И.Г. Гусарова. – Х.: ХНУРЕ, 2003. – 272 с.
193. Тлумачний словник з інформатики / Г.Г. Півняк, Б.С. Бусигін, М.М. Дівізінюк та ін. – Дніпропетровськ: Нац. гірнич. ун-т, 2010. – 600 с.
194. Уемов А.И. Системный подход и общая теория систем: монография / А.И. Уемов. – М.: Мысль, 1978. – 272 с.
195. Управління якістю: навч. посібник / В.Б. Захожай, Н.Г. Салухіна, О.М. Язвінська, А.Ю. Чорний; за наук. ред. В.Б. Захожая. – К.: ДП «Вид. дім «Персонал», 2011. – 936 с.
196. Управління якістю: навч. посібник / Д.П. Лойко, О.В. Вотченікова, О.П. Удовіченко, М.А. Котляр. – Львів: «Магнолія 2006», 2012. – 336 с.
197. Фейгенбаум А. Контроль качества продукции: сокр. пер. с англ. / А. Фейгенбаум; авт. пред. и науч. ред. А.В. Гличев. – М.: Экономика, 1986. – 471 с.
198. Ферстер Г.О. О самоорганизующихся системах и их окружении / Г. О. Ферстер // Самоорганизующиеся системы / [пер. с англ., под ред. Т.Н. Соколова]. – М.: Мир, 1964. – С. 113–139.
199. Философия: учебник / Ю.А. Харин, В.Ф. Берков, П.А. Водопьянов и др.; под общ. ред. Ю.А. Харина. – Минск: ТетраСистемс, 2008. – 448 с.
200. Флейшман Б.С. Основы системологии / Б. С. Флейшман. – М.: Радио и связь, 1982. – 368 с.
201. Хакен Г. Синергетика: иерархии неустойчивостей в самоорганизующихся системах и устройствах / Г. Хакен. – М.: Мир, 1985. – 419 с.
202. Ходаков В.Є. Вступ до комп'ютерних наук: навч. посібник / В.Є. Ходаков, Н.В. Пилипенко, Н.А. Соколова; за ред. В.Є. Ходакова. – К.: Центр навчальної літератури, 2005. – 496 с.
203. Холл А. Опыт методологии для системотехники / А. Холл [пер. с англ.]. – М.: Сов. радио, 1975. – 448 с.
204. Холтон Дж. Можно ли науку измерить? // Социальные показатели в системе научно-технической политики: Пер. с англ. – М.: Прогресс, 1986. – 483 с.

205. Хомяков П.М. Системный анализ: экспресс-курс лекций [под ред. В.П. Прохорова] / П.М. Хомяков. – М.: Изд-во ЛКИ, 2008. – 216 с.
206. Черноруцкий И. Г. Методы принятия решений / И.Г. Черноруцкий – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 416 с.
207. Чертов А.Г. Единицы физических величин / А.Г. Чертов. – Москва: Высшая школа, 1977. – 288 с.
208. Черчмен У. Введение в исследование операций / У. Черчмен, Р. Акофф, Л. Арноф; пер. с англ. – М.: Наука, 1968. – 488 с.
209. Чорней Н.Б. Теорія систем і системний аналіз: навч. посібник / Н.Б. Чорней, Р.К. Чорней. – К.: МАУП, 2005. – 256 с.
210. Шапкин А.С. Теория риска и моделирование рискованных ситуаций: учебник / А.С. Шапкин, В.А. Шапкин. – М.: Изд.-торговая корпорация «Дашков и К°», 2009. – 880 с.
211. Шабайкович В.А. Забезпечення якості промислової продукції / В.А. Шабайкович, Н.С. Григор'єва // Міжвузівський збірник «Наукові нотатки». – 2015. – Вип. № 49. – С. 172 -176.
212. Шабайкович В.А. Управління забезпеченням якості продукції: посібник / В.А. Шабайкович. – Львів: Ін.-т менеджменту, 2013. – 235 с.
213. Шаповал М.І. Менеджмент якості: навч. посібник / М.І. Шаповал. – К.: Тов. «Знання», КОО, 2007. – 471 с.
214. Шаповал М.І. Основи стандартизації, управління якістю та сертифікації / М.І. Шаповал.– К.: Вид-во Європейського ун-ту, 2002. – 174 с.
215. Шеннон К. Работы по теории информации и кибернетике / Под ред. Р.Л. Добрушина и О.Б.Лупанова. – М.: Изд-во иностранной литературы, 1963. – 829 с.
216. Шишков В. З. Психология безопасности / В.З. Шишков, В.И. Тарадай. – К.: НИИЦОП, 1996. – 62 с.
217. Щурин К.В. Управление качеством в историко-философском аспекте: уч. пособие / К.В. Щурин, А.Л. Воробьев, Д.А. Косых. – Оренбург: ОГУ, 2013. – 232 с.
218. Электротехнический справочник: В 3 тт. Т. 1. Общие вопросы. Электротехнические материалы / [под общ. ред. профессоров МЭИ В.Г. Герасимова и др.]. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 488 с.
219. Эшби У.Р. Введение в кибернетику / У.Р. Эшби; пер. с англ. Д.Г. Лахути; под ред. В.А. Успенского; с пред. А.Н. Колмогорова. – М.: Изд-во иностр. лит-ры, 1959. – 430 с.
220. Юдицкий С.А. Основы предпроектного анализа организационных систем: учеб.пособие / С.А. Юдицкий, П.Н. Владиславлев. – М.: Финансы и статистика, 2005. – 144 с.
221. Яковец Ю.В. Закономерности научно-технического прогресса и их планомерное использование / Ю.В. Яковец. – М.: Экономика, 1984. – 240 с.
222. Яковенко Е.Г. Экономические циклы жизни машин / Е.Г. Яковенко. – М.: Машиностроение, 1981. – 157 с.
223. Bloom B.S. Taxonomy of Educational Objectives // The Classification of Educational goals. Handbook 1: Cognitive Domain. – N.Y.: Academic Press, 1967. – 320 p.
224. David Verduyn. Discovering the Kano Model: [http:// www.kanomodel. com /wp-content /uploads / 2015 / 08 / Kano Article\\_2013. pdf](http://www.kanomodel.com/wp-content/uploads/2015/08/Kano_Article_2013.pdf)
225. Gharajedaghi Ja. Systems Thinking: Managing Chaos and Complexity. A Platform for Designing Business Architecture. – Boston: Butterworth – Heinemann, 1999. – 308 p.
226. Gruber T.R. The role of common ontology in achieving sharable, reusable knowledge bases // Proc. of the 2 International Conf. 1991. – P. 601 – 602.
227. ISO/IEC GUIDE 2:2004. Standardization and related activities — General vocabulary (Стандартизация и смежные виды деятельности. Общий словарь) Текст].— Введ. 03.11.2004.— ISO.— 76 с., включ. обложку.— (Международный стандарт).
228. Kano, Noriaki; Nobuhiku Seraku; Fumio Takahashi; Shinichi Tsuji. Attractive quality and must-be quality // *Journal of the Japanese Society for Quality Control* (in Japanese). – 1984. – № 14 (2). – P. 39–48.
229. Koller R. Konstruktionsmethode für den Maschinen – Geräte – und apparatebau – Berlin: Springer – Verlag, 1976. – 184 s.
230. Laszlo E. Introduction to systems philosophy: Toward a new paradigm of contemporary thought / E. Laszlo. – New York : Harper and Row, 1972. – 148 p.
231. Minsky M. A framework for representing knowledge. In P. Winston, Ed. The psychology of computer vision. New York: McGraw-Hill, 1975. – P. 211-277.
232. Mockler R. J. Situational Theory of Management [Text] / R. J. Mockler // Harvard Business Review. – 1971. – Vol. 49, № 3. – P. 146 –155.
233. Thom R. Catastrophe Theory: Its present state and future perspectives // Dynamical Systems. Warwick, 1974. – Berlin – Heidelberg – New York: Springer –Verlag, 1–75. – P. 366 –372. Lecture Notes Math.V. – 468 p.

234. Zadeh L.A. Fuzzy sets as a basic for a theory of possibility // Fuzzy Sets and Systems. – 1978. – V. 1. – P. 2-28.
235. Self J. Formel Approaches to Student Modelling // Department of Computing, Lancaster Universiti. England, Technical Report AI – 59. – July 1991. – P. 1-50.
236. Kosko, Bart. Fuzzy thinking / Hyperion, 1993. 5. Kosko, Bart. NeuralNetworksand Fuzzy Systems / Englewood Cliffs,NJ: Prentice-Hall, 1991.
237. Kosko B. Fuzzy Cognitive Maps // International Journal of Man-Machine Studies, 1986. – Vol. 1. – P. 65-75.

НАВЧАЛЬНЕ ВИДАННЯ

**Костюченко** Михайло Петрович  
**Ляшок** Ярослав Олександрович  
**Подкопаєв** Сергій Вікторович  
**Кіпко** Олександр Ернестович

**ОСНОВИ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ**  
**(теоретико-методологічні аспекти)**

Навчальний посібник

Технічний редактор, коректор *А.В. Петренко*

Формат 60x84/16. Ум. друк. арк. 18,62.  
Тираж 300 прим. Замовлення № 0095

Видавець Державний вищий навчальний заклад «Донецький національний технічний університет», 85300, м. Покровськ, пл. Шибанкова, 2.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 4911 від 09.06.2015.

Надруковано: вул. Шкадінова, буд.9, м. Краматорськ, Донецька обл., 84333.  
тел.: (06264) 6-78-47