

Міністерство освіти і науки України  
Державний економіко-технологічний університет транспорту

Кафедра УПП

## **СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ТРАНСПОРТНИХ ПРОЦЕСІВ**

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

Київ – 2014

УДК 004.45(075.8)

**Філіпович Л. В.** Системний аналіз транспортних процесів: Конспект лекцій.– К.: ДЕГУТ, 2014. – 57 с.

Конспект лекцій з дисципліни «Системний аналіз транспортних процесів» підготовлено за навчальним планом галузі знань 0701 «Транспорт і транспортна інфраструктура», спеціальності 7.07010102 «Організація перевезень і управління на транспорті (залізничний транспорт)» і програмою дисципліни «Системний аналіз транспортних процесів».

Призначений для студентів університету денної форми навчання галузі знань 0701 «Транспорт і транспортна інфраструктура», спеціальності 7.07010102 «Організація перевезень і управління на транспорті (залізничний транспорт)»

Конспект лекцій розглянуто та затверджено на засіданні кафедри «Управління процесами перевезень» (протокол № 8 від 19.03.2014 р.) та на засіданні методичної комісії факультету «Управління залізничним транспортом» (протокол № 5 від 23.03.2014 р.).

**Укладач:** Л. В. Філіпович, доцент кафедри УПП, канд. техн. наук, с.н.с.

**Рецензенти:** О. І. Стасюк, зав.кафедри АКІТТ, д.т.н, проф.;  
Г. І. Кириченко, заступник начальника Головного комерційного управління УЗ, к.т.н.

## ЗМІСТ

ВСТУП	6
ТЕМА 1. ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ ТА ЗАВДАННЯ СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ	7
<i>Лекція 1. Уведення в системний аналіз</i>	7
Основні поняття	7
Середовище і ціль	9
Призначення системи	9
Побудова системи	9
Оцінка зв'язку системи	9
Мета системи	9
Властивості системи	10
Складні системи	11
Запитання та завдання для самоперевірки	11
<i>Лекція 2. Історія розвитку системних уявлень</i>	12
Кібернетика Ампера і Трентовського	12
Теорія систем Федорова	13
Тектологія Богданова	14
Кібернетика Вінера	15
Теорія систем Бергаланфі	16
Системодинаміка Пригожина	16
Запитання та завдання для самоперевірки	17
<i>Лекція 3. Класифікація систем</i>	17
Класифікація за походженням	17
Класифікація за об'єктивністю існування	17
Діючі системи	17
Централізовані і децентралізовані системи	18
Класифікація за розміром	19
Гомогенні й гетерогенні системи	19
Лінійні й нелінійні системи	19
Дискретні і безперервні системи	19
Каузальні й цілеспрямовані системи	19
Великі і складні системи	20
Детерміновані і недетерміновані системи	20
Класифікація систем за ступенем організованості	20
Запитання та завдання для самоперевірки	21
ТЕМА 2. МЕТОДОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ СИСТЕМНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	23
<i>Лекція 4. Методологія системного аналізу</i>	23
Основні ідеї системного аналізу	23
Системність	24
Системна теорія	25
Системний підхід	25
Системний метод	25
Природнонаукова методологія і системний підхід	26
Системна діяльність	27
Запитання та завдання для самоперевірки	27

<i>Лекція 5. Аналіз і проектування систем</i>	28
Підходи до аналізу і проектуванню систем	28
Системно-елементний підхід	28
Системно-структурний підхід	28
Системно-функціональний підхід	28
Системно-генетичний підхід	28
Системно-комунікативний підхід	28
Системно-управлінський підхід	29
Системно-інформаційний підхід	29
Методики проведення системного аналізу	29
Застосування системного підходу до розв'язку транспортних проблем	31
Запитання та завдання для самоперевірки	32
<b>ТЕМА 3. МЕТОДИ СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ</b>	33
<i>Лекція 6. Системний підхід до прогнозування</i>	33
Постановка задачі прогнозування	33
Причини зміни прогнозованого показника	34
Вплив збурюючих та керуючих змінних	34
Вплив неконтрольованих змінних	34
Вплив динамічності	34
Вплив нестационарності	35
Вплив цілеспрямованості (активності)	35
Вибір методу прогнозування	35
Екстраполяційний підхід	36
Модельний підхід	37
Оцінювання точності прогнозних моделей	37
Експертний підхід	38
Запитання та завдання для самоперевірки	39
<i>Лекція 7. Системний аналіз ієрархічних структур</i>	39
Метод аналітичної ієрархії	39
Приклад реалізації методу аналітичної ієрархії	41
Постановка задачі	41
Твердження експерта	41
Матриця попарних порівнянь другого рівня ієрархії	41
Формування локальних пріоритетів	42
Оцінювання узгодженості матриці	42
Матриця попарних порівнянь третього рівня ієрархії	43
Розрахунок глобальних пріоритетів	44
Запитання та завдання для самоперевірки	45
<i>Лекція 8. Методи непараметричної статистики</i>	45
Вимірювальні шкали	45
Шкала номінальна	46
Шкала порядкова	46
Шкала інтервалів	47
Шкала відносин	48
Метод експертних оцінок	48

Алгоритм розрахунку сумарного рангу	49
Визначення рангової кореляції	49
Оцінка коефіцієнта рангової кореляції Спірмена	49
Визначення рангової конкордації	49
Узгодженість коефіцієнта конкордації	50
Визначення ваги факторів	51
Запитання та завдання для самоперевірки	52
ДОДАТОК I. ТАБЛИЦЯ ЗНАЧЕНЬ $t$ -КРИТЕРІЮ СТЬЮДЕНТА	53
ДОДАТОК II. ТАБЛИЦЯ РОЗПОДІЛУ ПІРСОНА	54
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	55

## ВСТУП

Для керівника будь-якого рангу ціна нерозсудливого рішення або висока, або взагалі може мати катастрофічні наслідки. Тому для того, щоб діяти осмислено і не робити помилок, потрібно мати надійний інструмент для прийняття рішень. Таким інструментом є методологія системного аналізу або системного підходу.

Термін «системний аналіз» з'явився в 60-х роках у США («*system analysis*») для позначення техніки аналізу складних систем.

Термін «системний підхід» відображає сучасну тенденцію вивчення явищ у всій повноті й взаємозв'язку з іншими процесами і явищами.

Системний підхід – це, насамперед, правильна організація мислення, яка полягає в умінні сприймати навколишній світ і його проблеми не через призму негайних вигід, а через багатогранну призму всебічної оцінки наслідків прийнятих рішень для всіх, кого вони торкаються, що дозволяє бачити проблему в цілому у всій її складності й повноті.

Вивчення дисципліни «Системний аналіз транспортних процесів» має три важливі аспекти:

- дисципліна є основою для наступних спеціалізованих курсів;
- як науковий напрямок тісно пов'язана з такими науковими напрямками як теорія інформації, теорія керування, теорія прийняття рішень, проблеми штучного інтелекту тощо;
- системний аналіз і системний підхід можна розглядати як життєву філософію, що дозволяє вирішувати життєві проблеми, знаходити нестационарні рішення, уникаючи крайнощів.

Розвиток системного мислення процес досить складний і вимагає інтелектуальних зусиль, інтуїції й здорового глузду, здобувається практикою і досвідом.

Завданнями дисципліни «Системний аналіз транспортних процесів» є:

- ознайомлення студентів з основними поняттями системного аналізу і принципами системного підходу;
- формування системних уявлень і системно-методологічних аспектів моделювання;
- оволодіння методологією, методами і алгоритмами системного аналізу; методами одержання інформації для побудови моделей систем; вирішення проблем на складних об'єктах залізничного транспорту; методологією застосування системного аналізу при проектуванні складних систем.

# ТЕМА 1. ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ ТА ЗАВДАННЯ СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ

## Лекція 1. Уведення в системний аналіз

### Основні поняття

**Системний аналіз** – це методологія вирішення проблем, яка заснована на структуризації систем і кількісним порівнянні альтернатив.

Системний аналіз являє собою синтез ідей і принципів загальної теорії систем, кібернетики і обчислювальної техніки.

Метою системного аналізу є вивчення і моделювання об'єктів складної природи, тобто систем. Мету системного аналізу можна також трактувати як виявлення і усунення невизначеностей.

Слово «аналіз» грецького походження і означає розкладання, розчленування (уявне або реальне) об'єкта на елементи, а також вживається як синонім наукового дослідження взагалі.

Джерела системного аналізу сходять до праць грецьких філософів Піфагора і Платона. У філософському розумінні слово «аналіз» складається із двох частин: «ана» – нагору і «ліз» – розділяю, що означає **виявлення першооснови, сутності явищ навколишнього світу.**)

Поняття «система» походить від грецького і означає: ціле, складене із частин, з'єднання.

Філософи визначають систему як засіб досягнення мети.

Якщо сформулювати мету, як суб'єктивне відбиття неіснуючого, але бажаного стану середовища, то подальша діяльність людини буде спрямована на відбір із навколишнього середовища тих об'єктів, властивості яких можна застосувати для досягнення мети, і на об'єднання цих об'єктів належним чином.

Наприклад, якщо визначити мету як необхідність масового перевезення вантажів і пасажирів, то об'єкт, який потрібно виділити із навколишнього середовища (систему за визначенням) – це транспорт. При цьому акцент робиться на **призначенні** системи, а не на її внутрішній устрій.

Таку систему можна уявити у вигляді «**чорної скрині**», яка виділена із навколишнього середовища (рис. 1.1).

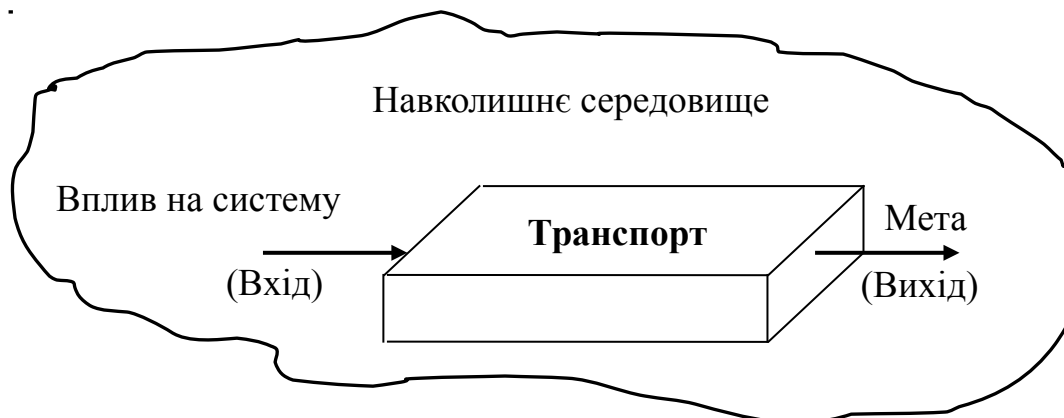


Рис. 1.1. Модель системи «чорна скриня»

Ця максимально спрощена модель системи має дві основні властивості: цілісність і відокремленість від середовища. Проте «скриня» відокремлена від навколишнього середовища, але не ізольована від неї. Навколишнє середовище впливає на систему і, в свою чергу, система впливає на навколишнє середовище. Такий вплив зображено на рис. 1.1 у вигляді стрілок входу та виходу.

Основні труднощі побудови моделі «чорна скриня» полягають у виборі входів і виходів системи. Якщо деякі з них не враховані, це призведе до помилкового результату або взагалі до не розв'язку моделі. Якщо залучити несуттєві входи і виходи, це призводить до невиправданого ускладнення моделі, що, крім витрат, також призводить до попереднього результату.

Цілісність і відокремленість відображають *зовнішні* властивості системи. Для того щоб вирішити питання про внутрішній устрій системи, необхідна інша модель, більш детальна.

Внутрішній устрій «скрині» є неоднорідним і складається з різних частин, які, в свою чергу, можна розбити ще на більш дрібні частини. Ті частини системи, які можуть розглядатися як неподільні, одержали назву *елементів*. Частини системи, які складаються з декількох елементів, називаються *підсистемами*.

Підсистеми мають ієрархічну структуру. Підсистема у складі підсистеми – підсистема другого рівня. Враховуючи внутрішній уміст, можна одержати модель системи (рис. 1.2), яка називається *моделлю складу системи*.

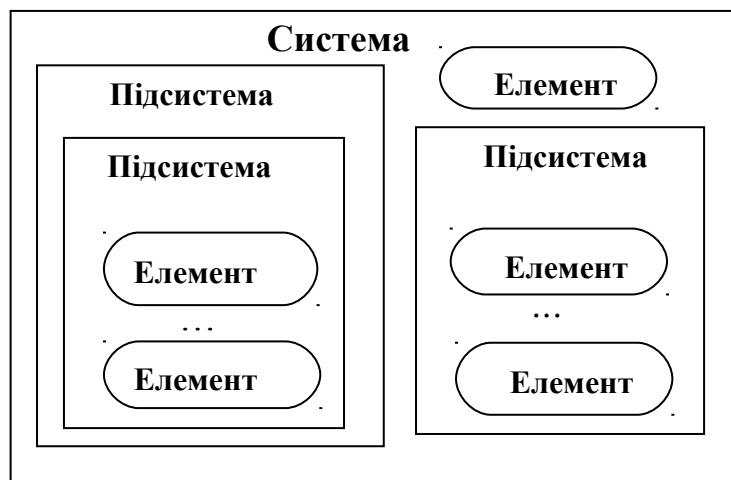


Рис. 1.2. Модель складу системи

Якщо дати завдання різним експертам побудувати модель складу системи, то отримані результати будуть різнитися.

По-перше: відрізняється поняття елементарності. Те, що для одного експерта буде елементом, то для іншого може виявитися підсистемою, яка потребує подальшого розгляду.

По-друге: модель складу, як і будь-яка інша модель – цільова, а для різних цілей той самий об'єкт можна розбити на різні частини. Наприклад, модель складу поїзда буде різнитися для машиніста, провідника і пасажира.

По-третє: розподіл на частини в моделях дуже умовний. Наприклад, гальмівна система поїзда може належати як до ходової частини, так і до підсистеми керування.



Для вирішення важливих питань побудови системи треба встановити зв'язки або відносини між елементами. Сукупність необхідних і достатніх для досягнення мети відносин між елементами складає **структуру** системи.

Безмежність природи виявляється в тому, що між об'єктами системи може існувати велика кількість відносин. Коли сукупність об'єктів розглядається як система, то з усіх відносин істотними будуть тільки деякі. Таким чином, у модель структури вводиться тільки кінцеве число відносин (зв'язків).

Враховуючи викладене, поняття системи можна сформулювати так: **система** – це сукупність **взаємопов'язаних** елементів, **відокремлених** від навколишнього середовища, і які взаємодіють з нею як єдине **ціле**.

### **Середовище і ціль**

**Середовище** – це сукупність усіх об'єктів, зміна яких впливає на систему, а також об'єктів, які змінюються під дією системи.

Система може бути пов'язана із середовищем у такий спосіб:

- призначенням;
- побудовою;
- оцінкою зв'язку;
- метою.

### **Призначення системи**

Якщо призначення системи не сумісне із середовищем, то потрібно модифікувати призначення, або відмовитися від системи, або надати системі новий вигляд і пристосувати до середовища.

### **Побудова системи**

Побудова системи має на увазі таку комбінацію компонентів, які гармонійно взаємодіють між собою, а також із середовищем.

### **Оцінка зв'язку системи**

При оцінюванні зв'язку системи із середовищем необхідно вирішити питання її сумісності із середовищем, ефективності призначення, можливості включення додаткових цілей за умови незначних модифікацій самої системи.

### **Мета системи**

Мета – це сама складна і в той же час сама прадавня категорія. Вона завжди присутня у свідомості людини, яка реалізує будь-який вид діяльності. Усвідомлення мети допомагає зрозуміти сутність системи, що досліджується. Мета відображає призначення системи, яке може згодом змінюватися. Відносно часу розрізняють цілі **тактичні**, **макроцілі** та **ідеали**.

**Тактичні цілі** – це бажані результати, досягнення яких здійснюється за певний і відносно короткий час.

**Макроцілі** досягаються за тривалий час і для цього потрібна хоча б одна з тактичних цілей.

**Ідеали** – это такі цілі, які ніколи не досягаються, але до них система повинна постійно наближатися, реалізуючи для цього деякі тактичні цілі й макроцілі.

Відповідно наявності інформації про способи досягнення цілей виділяють **функціональні цілі**, **цілі-аналоги** і **цілі розвитку**.

**Функціональні цілі** – це цілі, спосіб досягнення яких відомий системі, тобто вона *вже* досягла цих цілей. Функціональні цілі повторюються як у просторі, так і у часі. Прикладом таких цілей є результати виконання періодично повторюваних виробничих операцій, стандартні функції керування тощо.

**Ціль-аналог** – це образ, який отримано в результаті дій іншої системи, але ніколи не досягався системою, що розглядається, а якщо й досягався, то при інших умовах зовнішнього середовища.

**Цілі розвитку** – це зовсім нові цілі, які ніколи й ніким не досягалися. По суті, ці цілі пов'язані зі створенням нових систем.

Усі типи цілей є взаємозалежні: мета розвитку за умови її успішної реалізації стає метою-аналогом для інших систем, а для даної системи стає функціональною метою при незмінних зовнішніх умовах або метою-аналогом при зміні зовнішніх умов.

### **Властивості системи**

Розрізняють загальні властивості системи: *структурні, динамічні* і властивості, що характеризують її *опис і керування*.

**Структурні** властивості визначають особливості організації системи. До структурних властивостей належать: *ієрархічна впорядкованість, централізація, вертикальна цілісність і горизонтальна відособленість*.

**Ієрархічна впорядкованість** полягає в можливості поділу системи на підсистеми і відображає той факт, що поведінка підсистеми не може бути повністю аналогічною поведінці системи. Більшість систем є ієрархічно впорядкованими.

У **централізованій** системі один елемент або підсистема відіграє головну роль у функціонуванні всієї системи. Ця частина системи називається *провідною* або центром системи.

**Цілісність** системи виявляється в тому, що зміна в деякій її частині викликає зміну в другій частині і в системі в цілому.

**Відособленість** виявляється в тому, що система може бути представлена у вигляді сукупності не пов'язаних частин. Зміни в кожній частині залежать тільки від самої цієї частини. Зміни в самій системі є сумою змін в окремих її частинах, що називають *відособленістю* або *фізично сумативною* поведінкою.

**Динамічні** властивості характеризують поведінку системи та особливості її взаємодії з навколишнім середовищем. До динамічних властивостей належать: *ізоляція, систематизація, адаптивність, стабільність* тощо.

Система піддається *прогресуючій ізоляції*, якщо згодом відбувається перехід від цілісності до сумативності. Ізоляція може проявлятися у вигляді розпаду при руйнуванні системи і у вигляді росту при зростанні поділу на підсистеми, що призводить до диференціації функцій (процес творчості, еволюція, розвиток).

Властивість *прогресуючої систематизації* є протилежною властивості ізоляції і полягає в посиленні колишніх відносин між частинами і розвитку відносин між не пов'язаними колись частинами. Ізоляція і систематизація

можуть відбуватися в одній системі одночасно протягом тривалого часу (система перебуває в рівновазі) або послідовно.

Властивість *адаптивності* системи полягає в її здатності зберігати свої функції при впливі навколишнього середовища, тобто реагуванні на середовище таким чином, щоби одержати сприятливі наслідки для діяльності системи в цілому. Усі системи тією чи іншою мірою адаптивні. Більше адаптивні біологічні і технічні системи, найбільше адаптивні – соціальні і організаційно-технічні.

Якщо деякі властивості системи прагнуть зберігатися в деяких межах, то про такі системи говорять, що вони *стабільні*, хоча система може бути стабільною в одному відношенні і нестабільною в іншому.

### Складні системи

Складність систем має різний сенс: *структурна* складність, *динамічна* складність, *обчислювальна* складність. Існують два принципи оцінки складності незалежно від її типу:

– Складність системи *пропорційна обсягу інформації*, яка необхідна для *опису* цієї системи (дескриптивна складність). Одним зі способів оцінки дескриптивної складності є оцінювання числа елементів, що входять у систему (змінних, станів, компонентів) і різноманітних зв'язків між ними.

– Складність системи *пропорційна обсягу інформації*, яка необхідна для *розв'язку нечіткості* системи.

Обидва типи складності конфліктують між собою: збільшується одна складність, зменшується інша.

*Структурна* складність включає такі складові як схема зв'язку, компоненти, число зв'язків, сила взаємодії.

*Динамічна* складність – це складність передбачення поведінки системи.

*Обчислювальна* складність визначається складністю алгоритмів.

### Запитання та завдання для самоперевірки

1. У чому полягає сутність системного аналізу?
2. Надати визначення поняттю «система».
3. Що являє собою модель системи «чорна скриня»?
4. Які основні властивості притаманні моделі «чорна скриня»?
5. Яка модель системи визначає її внутрішній устрій?
6. Надати визначення категорії «мета системи».
7. Яким чином цілі системи пов'язані з часом?
8. У який спосіб досягаються функціональні цілі, цілі-аналоги, цілі розвитку?
9. Визначити структурні властивості системи та їхні основні ознаки.
10. Визначити складові динамічних властивостей системи та їхні основні ознаки.
11. Що означає структурна, динамічна і обчислювальна складність системи?

## **Лекція 2. Історія розвитку системних уявлень**

Усвідомлення системності матерії прийшло до філософів більше ста років тому і стало фундаментом матеріалістичної діалектики. Результати філософії мають загальний характер і стосуються всіх існуючих систем.

Конкретні науки здебільшого дотримуються протилежного, індуктивного методу – від дослідження реальних систем до встановлення загальних закономірностей. Проте, усвідомлено або неусвідомлено, системність була методом будь-якої науки.

### **Кібернетика Ампера і Трентовського**

Питання про науковий підхід до управління складними системами в явному вигляді першим поставив Андре Ампер (рис.2.1) у роботі «Досвід філософії наук або аналітичний виклад класифікації всіх людських знань»



#### **Біографічна довідка:**

Народився 20 січня 1775 року,  
м. Ліон, Франція;  
громадянство – француз;  
галузь наукових інтересів – фізика,  
математика;  
вчене звання – професор;  
помер 10 червня 1836 року (61 рік),  
м. Марсель, Франція.

Рис. 2.1. Ампер Андре-Марі

У цій роботі Ампер виділяє спеціальну науку про управління і називає її **кібернетикою**. Пріоритет вченого полягав не тільки у тому, що він позначив необхідне місце для кібернетики у низці інших наук, але й підкреслив її системні особливості:

*«Безупинно уряду доводиться обирати серед різних заходів той, який найбільше придатний для досягнення мети і лише завдяки поглибленому і порівняльному вивченню різних елементів, знанням усього того, що стосується керованого ним народу – характеру, поглядів, історії релігій, засобів існування і процвітання, організації і законів – може він скласти собі загальні правила поведінки, що керують ним у кожному конкретному випадку. Цю науку я називаю кібернетикою від слова (cybernetics), що позначає спершу, у вузькому*

*змісті, мистецтво керування кораблем, а потім поступово одержало у самих греків більш широке значення мистецтва керування взагалі*»

У той час як Ампер тільки дійшов висновку про необхідність кібернетики, польський філософ Броніслав Трентовский вже читав у Фрейбургському університеті курс лекцій, зміст яких опублікував у 1843 році. Його монографія мала назву «Відношення філософії до кібернетики як мистецтву керування народом». Основна ідея цієї праці – побудова наукових основ практичної діяльності керівника («кібернета»). Трентовский пише:

*«Застосування мистецтва керування без будь-якого серйозного вивчення відповідної теорії аналогічно лікуванню без будь-якого глибокого розуміння медичної науки».*

Трентовский підкреслював, що ефективне управління повинне враховувати всі найважливіші зовнішні й внутрішні фактори, що впливають на об'єкт керування.

*«За однією і тією ж політичною ідеологією кібернет повинен управляти по-різному в Австрії, Росії або Пруссії. Точно так само й в одній і тій же країні він повинен управляти завтра інакше, ніж сьогодні».*

З позицій діалектики Трентовский розумів, що суспільство, колектив, та й сама людина – це система, єдність протиріч, вирішення яких і є *розвиток*. Тому, виходячи із загального добра, кібернет повинен уміти одні протиріччя приміряти, інші – загострювати, направляючи розвиток до *потрібної мети*.

### **Теорія систем Федорова**

Суспільство середини минулого століття виявилось не готовим сприйняти ідеї кібернетики. Практика управління ще могла вдовольнитися без науки управління. Кібернетика народилася занадто рано і була забута. Пройшло майже півстоліття і системна проблематика знову з'явилася в полі зору науки.

Цього разу увага була зосереджена на питаннях *структури і організації систем*. Важливим з'явилося усвідомлення, що неймовірна різноманітність природних тіл реалізується з обмеженого і невеликого числа вихідних форм. Це стосується мовних побудов, музичних творів, архітектурних конструкцій, структури речовин та інших систем.

У 1891 році академік Євграф Степанович Федоров (рис. 2.2) відкрив, що існує тільки 230 типів кристалічних решіток, хоча будь-яка речовина за певних умов може кристалізуватися. Крім того, Федорову належить спостереження, що головним засобом життєздатності й прогресу систем є не їхня пристосованість, а *здатність* до пристосування («життєва рухливість»), не стрункість, а *здатність* до підвищення стрункості.



### **Біографічна довідка:**

Народився 22 грудня 1853 року,  
м. Оренбург;  
громадянство – росіянин;  
галузь наукових інтересів – фізика,  
кристалографія, петрографія,  
мінералогія, математика;  
відомий завдяки доведенню всіх  
можливих просторових груп  
(230 груп);  
помер 21 травня 1919 року.

Рис. 2.2. Євграф Степанович Федоров

Академік Федоров увійшов в аналі історії науки як засновник теорії систем.

### **Тектологія Богданова**

Наступний етап у вивченні системності пов'язаний з ім'ям Олександра Олександровича Богданова. У 1911÷1925 роках виходить його тритомник «Загальна організаційна наука (тектологія)». Основна ідея Богданова – усі існуючі об'єкти і процеси мають певний *рівень організованості*. Тектологія, на відміну від конкретних природничих наук, що вивчають закономірності конкретних явищ, повинна вивчати *загальні* закономірності організації для всіх рівнів організованості. Усі явища Богдановим розглядаються як безперервні процеси організації і дезорганізації. Він відзначає, що рівень організації тим вище, чим сильніше властивості цілого відрізняються від простої суми властивостей його частин.

Основними особливостями тектології є:

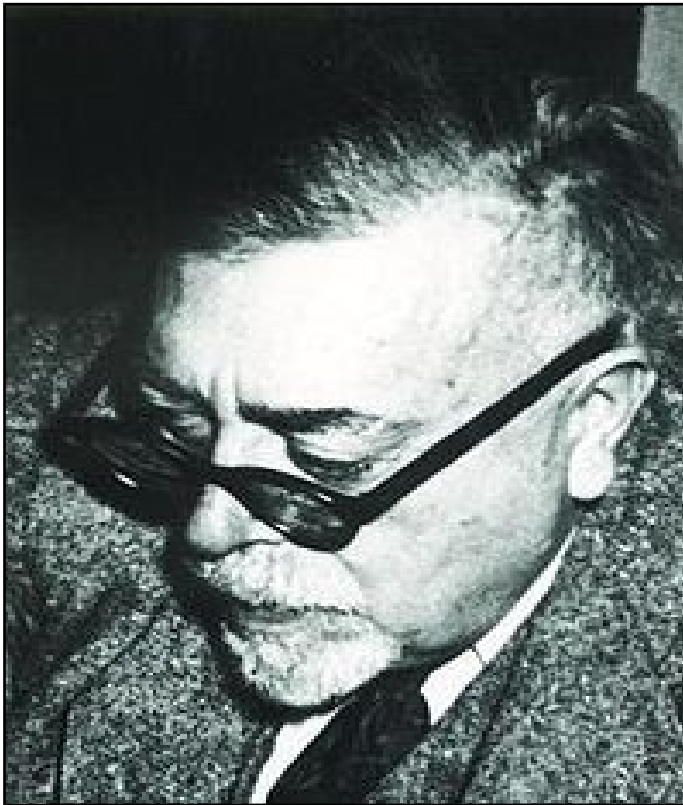
- дослідження закономірностей розвитку організації;
- співвідношення стійкого і мінливого;
- значення зворотних зв'язків;
- облік власних цілей організації, які можуть як сприяти цілям вищого рівня, так і суперечити їм;
- роль відкритих систем.

Богданов розглядав також проблеми криз, тобто таких моментів в історії будь-якої системи, коли неминуча корінна («вибухова») перебудова її структури. Він підкреслював роль математики і моделювання як методів розв'язку завдань тектології.

Медик за професією, Богданов захоплювався філософією. Він створив власну філософію – емпіріокритицизм. В. І. Ленін у роботі «Матеріалізм і емпіріокритицизм» розкритикував емпіріокритицизм, не залишивши від нього каменю на камені, після чого Богданов відійшов від усякої філософії, включаючи свою власну. Він брав активну участь у політичній діяльності, був директором Інституту переливання крові, створеного з його ініціативи. Там же став перевіряти деякі висновки тектології на прикладі кровоносної системи. Як дослідник, деякі досліди проводив на собі і один з таких дослідів завершився фатально – Богданов помер.

### **Кібернетика Вінера**

Масове засвоєння системних понять, суспільне усвідомлення системності світу, суспільства і людської діяльності почалося з публікації у 1948 році праці «Кібернетика» американського математика Норберта Вінера (рис. 2.3).



#### **Біографічна довідка:**

Народився  
26 листопада 1894 р.,  
Колумбія, Міссурі;  
Помер 19 березня 1964 р.  
(69 років), Стокгольм, Швеція.

*Рис. 2.3.* Норберт Вінер

Спочатку автор визначив кібернетику як «науку про управління і зв'язку у тварин і машинах», що було викликано особистим інтересом математика до аналогій процесів у живих організмах і машинах. Але вже в наступній праці Вінер аналізує процеси, що відбуваються в суспільстві, з позицій кібернетики.

Спочатку поява кібернетики як науки універсальної (технічні, біологічні, економічні і соціальні об'єкти і процеси), ввела наукове співтовариство в деяке збентеження – чи має *кібернетика* свій предмет дослідження. Перший міжнародний конгрес з кібернетики (Париж, 1956 р.) прийняв пропозицію вважати кібернетику не наукою, а «мистецтвом ефективної дії».

У Радянському Союзі появу кібернетики зустріли вороже, вважаючи її ідеалістичною лженаукою.

У процесі розвитку кібернетики, уточненні її понять, розробки власних методів, одержанні конкретних результатів у різних областях кібернетика здобула своє визнання як наука зі своїми специфічними методами дослідження.

Як наука кібернетика знайшла і своє трактування:

*«Кібернетика – це наука про оптимальне управління складними динамічними системами»* (академік Берг).

*«Кібернетика – це наука про системи, що сприймають, зберігають, переробляють і використовують інформацію»* (академік Колмогоров).

Проте кібернетиці Вінера властивий певний техніцизм. У розгляді інформаційних процесів присутня *кількісна* сторона на втрату *якісної*; принцип оптимальності реалізується тільки в повністю формалізованих задачах; при моделюванні враховується тільки логічна складова.

Кібернетику Вінера можна розглядати як важливий етап у розвитку системних уявлень, на якому зустрілися нездоланні труднощі і виявилися недоліки самої теорії.

### **Теорія систем Берталанфі**

Паралельно і незалежно від кібернетики прокладається ще один підхід до науки про системи – *загальної теорії систем*. Ідея теорії, яка була б застосована до систем будь-якої природи, висунута австрійським біологом Людвігом фон Берталанфі, який запропонував такий шлях реалізації ідеї: знаходити структурну подібність законів, установлених у різних дисциплінах і, узагальнюючи їх, виводити загальносистемні закономірності. Але найважливішим відкриттям Берталанфі є введення поняття *відкритої системи*.

На відміну від вінеровського підходу, де досліджуються внутрішні зворотні зв'язки у середині системи, а функціонування розглядається просто як відгук на зовнішні впливи, Берталанфі підкреслює значення обміну системи речовиною, енергією, інформацією з навколишнім середовищем. У відкритій системі встановлюється динамічна рівновага, яка може бути спрямована у бік ускладнення організації, і її функціонування є не просто відгуком на зміну зовнішніх умов, а збереженням старої або встановленням нової рухливої внутрішньої рівноваги системи.

Берталанфі і його послідовники намагалися надати загальній теорії систем формального характеру. Однак привабливий задум побудувати загальну теорію систем як нову логіко-математичну дисципліну не реалізований і дотепер.

### **Системодинаміка Пригожина**

Великий крок у дослідженні систем зроблений бельгійською школою на чолі з Іллеєм Романовичем Пригожиним, лауреатом Нобелівської премії 1977 року. Пригожин запропонував нову оригінальну теорію системодинаміки. За цією теорією, матерія не є пасивною субстанцією. Їй властива спонтанна активність, викликана нестійкістю нерівноважних станів, у які рано або пізно приходять будь-яка система в результаті взаємодії з навколишнім середовищем.



Важливо, що в такі переломні моменти принципово неможливо передбачити, чи стане система менш організованою або більш організованою.

Класики системності творили в різних галузях науки: Ампер був фізиком; Трентовський – філософом; Богданов – медиком; Вінер – математиком; Берталанфі – біологом; Пригожин – фізиком. Різні спеціальності цих вчених є ще одним підтвердженням загальності системності природи.

### **Запитання та завдання для самоперевірки**

1. Чим завдячує кібернетика Амперові і Трентовському?
2. Який внесок у науку управління Федорова?
3. У чому полягає особливість тектології Богданова?
4. Яку роль в науці відіграла кібернетика Норберта Вінера?
5. Яким відкриттям в області теорії систем відзначився Берталанфі?
6. У чому полягає заслуга Пригожина?

### **Лекція 3. Класифікація систем**

#### **Класифікація за походженням**

За походженням системи поділяють на *природні*, *штучні* і *змішані*.

**Природні** – системи, що об'єктивно існують у живій і неживій природі, тобто виникли без участі людини (клітина, організм, суспільство, всесвіт тощо).

**Штучні** – системи, створені людиною (підприємство, місто, держава, громадські організації, партії тощо).

До *змішаних* належать ергономічні системи (машина – оператор), автоматизовані, біотехнічні, організаційні тощо.

#### **Класифікація за об'єктивністю існування**

За об'єктивністю існування всі системи можна поділити на дві групи: реальні (матеріальні або фізичні) і абстрактні (символічні).

**Реальні** системи складаються із природних і штучних об'єктів (вироби, машини, устаткування тощо).

**Абстрактні** – по суті є моделями реальних об'єктів. Це – мови, системи числення, ідеї, плани, алгоритми, математичні моделі тощо.

Іноді виділяють *ідеальні* або *концептуальні системи* – системи, які зумовлюють принципову ідею або зразкову дійсність, тобто *зразковий* варіант існуючої або проектованої системи.

Крім того, можна виділити *віртуальні* системи, не існуючі в реальності модельні або уявні об'єкти, процеси або явища.

#### **Діючі системи**

Діючі системи здатні здійснювати операції, роботи, процедури, діючі за програмами що задаються людиною. До таких систем можна віднести: *технічні*, *ергатичні*, *технологічні*, *економічні*, *соціальні*, *організаційні* і *системи управління*.

**Технічні** – матеріальні системи, які розв'язують завдання за програмами, які складені людиною. Технічна система являє собою сукупність взаємозалежних фізичних елементів. Люди *не є* елементами таких систем (автомобіль, комп'ютер тощо).

Якщо в системі присутня людина-оператор, яка є складовим елементом системи, то така система класифікується як **ергати́чна**. Ергатичної є людино-машинна система, у якій людина-оператор або група операторів взаємодіє з технічним пристроєм у процесі виробництва матеріальних цінностей, управління, обробки інформації тощо.

Існує два поняття технології: як сукупності абстрактних операцій і як сукупності операцій з відповідним апаратно-технічним обладнанням. Звідси, за аналогією, розрізняють формальну і матеріальну **технологічну** систему.

**Формальна технологічна** система – це сукупність операцій для досягнення деякої мети (розв’язків деяких задач). Структура такої системи визначається набором методів, методик, регламентів, рецептів, правил і норм.

**Матеріальна технологічна** система – це сукупність реальних приладів, обладнань, інструментів, матеріалів, що реалізують операції і визначають їхню якість і тривалість.

Прикладом формальної технологічної системи відносно транспортної системи можуть слугувати нормативні акти, правила, умови, статuti тощо, а прикладом матеріальної технологічної системи – транспортні засоби, пристрої, прилади тощо.

**Економічні** – системи відносин (процесів), що складаються в економіці. Це сукупність економічних відносин, що виникають у процесі виробництва, розподілу, обміну і споживання економічних продуктів, які регламентуються сукупністю відповідних принципів, правил і законодавчих норм.

**Соціальні** – сукупність заходів, спрямованих на соціальний розвиток життя людей. До таких заходів належать: поліпшення соціально-економічних і виробничих умов праці; посилення його творчого характера; поліпшення життя працівників; поліпшення житлових умов тощо.

**Організаційні** – сукупність елементів, що забезпечують координацію дій, нормальне функціонування і розвиток основних функціональних елементів об’єкта. Елементами такої системи є органи управління, що володіють правом ухвалення управлінських рішень. Це керівники, підрозділи і навіть організації (міністерства).

**Управління** – дія або функція, що забезпечує реалізацію заданих цілей. Система, у якій реалізується функція управління, називається **системою управління**. Система управління містить два головні елементи: керовану підсистему (об’єкт управління) і керуючу підсистему, яка здійснює функцію управління (орган управління).

### **Централізовані і децентралізовані системи**

**Централізованою** називається система, в якій деякий елемент відіграє головну, домінуючу роль у функціонуванні системи.

Такий головний елемент називається провідною частиною системи або її центром. При цьому навіть невеликі зміни провідної частини викликають значні зміни системи, як бажані, так і небажані.

Недоліками такої системи є невисока швидкість адаптації, складність керування через величезний потік інформації, яку необхідно переробити в центральній частині системи.

**Децентралізовані** – системи, які не мають головного елемента. Найважливіші елементи такої системи мають приблизно однакову цінність і з'єднуються між собою послідовно або паралельно.

### **Класифікація за розміром**

За розміром системи поділяються на *одномірні* й *багатомірні*.

**Одномірні** – системи, що мають один вхід і один вихід,

Якщо входів і виходів більше – системи **багатомірні**.

### **Гомогенні й гетерогенні системи**

За різноманітністю структури розрізняють системи *гомогенні* (однорідні) і *гетерогенні* (різноманітні), а також системи змішаного типу.

У *гомогенних* системах структурні елементи однорідні, тобто вони мають однакові властивості і є взаємозамінними як, наприклад, комп'ютерні системи в організації, що мають однакові типи комп'ютерів, однакову операційну систему і програмне забезпечення).

**Гетерогенні** системи складаються з різноманітних елементів, що не є взаємозамінними, наприклад, інформаційна мережа, в якій працюють протоколи мережного рівня різних фірм-виробників, містять обчислювальні фрагменти різної топології і різноманітне обчислювальне обладнання).

### **Лінійні й нелінійні системи**

Система називається *лінійною*, якщо вона описується лінійними рівняннями (алгебраїчними, диференціальними, інтегральними). Усі інші системи є *нелінійними*.

Лінійним системам властива *суперпозиція*, яка полягає у тому, що реакція системи на будь-яку комбінацію зовнішніх впливів дорівнює сумі реакцій на кожне із цих впливів, поданих на систему порізно. Припустимо, що вхідна змінна змінилася на  $\Delta x$ . Результуюча зміна вихідної змінної складала  $\Delta y$ . Після двох незалежних змін вхідної змінної на  $\Delta x_1$  і  $\Delta x_2$ , таких, що  $\Delta x_1 + \Delta x_2 = \Delta x$ , сумарна зміна вихідної змінної складе  $\Delta y$ .

Переважає більшість систем є нелінійними. Для спрощення аналізу користуються лінеаризацією, тобто нелінійну систему приблизно описують лінійною. Втім це не завжди є можливим, зокрема не можна лінеаризувати дискретну систему.

### **Дискретні і безперервні системи**

**Дискретна** – система, що містить хоча б один елемент дискретної дії. Дискретним називається елемент, вихідна величина якого змінюється стрибками навіть при плавній зміні вхідних величин.

Усі інші системи належать до *безперервних*.

### **Каузальні й цілеспрямовані системи**

Залежно від здатності системи ставити собі мету розрізняють *каузальні* й *цілеспрямовані* (активні) системи.

**Каузальні** – це системи, яким ціль внутрішньо не властива. До таких систем належить широкий клас неживих систем. Якщо така система і має цільову функцію, то вона задається ззовні (автономно).

**Цілеспрямовані** – системи, здатні до вибору своєї поведінки залежно від внутрішньої властивої мети, яка формується усередині системи. Елемент цілеспрямованості завжди присутній в системі, яка включає в собі людей. До активних у першу чергу належать організаційні, соціальні і економічні системи. У закордонній літературі їх називають «*м'якими*». Вони здатні *свідомо* надавати недостовірну інформацію, *свідомо* не виконувати плани і завдання, якщо це їм не вигідно. Важливою властивістю такої системи є здатність *прогнозувати* наслідки прийнятих рішень, що утрудняє застосування зворотного зв'язку при управлінні системою.

### **Великі і складні системи**

Часто терміни «великі» і «складні» використовуються як синоніми. У той же час існують різні підходи до визначення цих понять. Наприклад, деякі автори вважають систему *великою*, якщо вона складається з великої кількості елементів (часто однорідних) і *складною*, якщо система характеризується складністю відносин, алгоритмів або поведінки.

Дотепер немає чіткого уявлення, що таке велика і складна система. Можливі й інші комбінації існуючих систем: *малі прості*, *малі складні*, *великі прості* і *великі складні*. Належність системи до того або іншого класу залежить від точки зору дослідника.

### **Детерміновані і недетерміновані системи**

Якщо входи системи однозначно визначають її виходи, тобто поведінка системи передбачувана, то така система називається *детермінованою*, а якщо ні, то система *недетермінована (стохастична)*.

Детермінованість характерна для менш складних систем.

Стохастичність визначається як наслідок випадковості. Випадковість – це ланцюг невиявлених закономірностей. У цьому випадку неможливо врахувати всі фактори (входи).

Стохастичність може бути наслідком неточних вимірів вхідних параметрів, а також обмеженої точності складних розрахунків.

### **Класифікація систем за ступенем організованості**

**Організованість**  $R$  або впорядкованість системи визначається за формулою:

$$R = 1 - \frac{a}{a_{\max}}, \quad (3.1)$$

де  $\epsilon_{\text{реал}}$  – реальне або поточне значення ентропії;

$\epsilon_{\text{макс}}$  – максимально можлива ентропія.

**Ентропія** – мірило невизначеності випадкового об'єкта (від грецького «перетворення»).

Якщо система повністю детермінована і організована, то ентропія  $\epsilon_{real}=0$  і  $R=1$ .

Якщо система повністю дезорганізована, то  $\epsilon_{real}=\epsilon_{max}$ . і  $R=0$ .

За ступенем організованості розрізняють *добре організовані системи*, *погано організовані системи* (дифузні), системи, що *самоорганізуються* (що розвиваються).

Для *добре організованих* систем характерний детермінований опис, експериментально показана правомірність їхнього застосування, тобто доведена адекватність моделі. Зазвичай – це технічні і технологічні системи.

У *погано організованих* системах не ставиться задача визначення *всіх* компонентів і їхніх зв'язків із цілями системи. Для опису властивостей таких систем застосовується *вибірковий* метод і *макропараметричний* підхід.

При *вибірковому* методі досліджується вибірка компонентів системи і результат поширюється на поведінку системи в цілому.

При *макропараметричному* підході властивості системи визначаються за допомогою інтегральних характеристик (макропоказників). Організація Об'єднаних Націй при оцінюванні рівня якості системи охорони здоров'я держави як макропоказник застосовує кількість дітей, що вмерли до п'яти років, на тисячу немовлят.

*Погано організовані* системи застосовуються при визначенні пропускну здатності систем різного роду, чисельності штату співробітників у різного роду організаціях, документальних потоків інформації тощо.

*Системи, що самоорганізуються* визначаються сукупністю ознак, що обумовлені наявністю активних елементів, які роблять систему цілеспрямованою. До таких ознак належать:

- нестационарність (мінливість);
- унікальність і непередбачуваність поведінки в конкретних умовах;
- здатність змінювати свою структуру і формувати варіанти своєї поведінки, зберігаючи цілісність і основні властивості;
- здатність протистояти ентропії (руйнуючим тенденціям);
- здатність адаптуватися до мінливих умов;
- здатність і прагнення до цілеутворення.

Принципова відмінність систем з активними елементами полягає в тому, що, починаючи з деякого рівня складності, такі системи простіше виготовити і ввести в дію, перетворити і змінити, ніж відобразити формальною моделлю.

Головна особливість систем, що самоорганізуються – це принципова обмеженість формалізованого опису.

### **Запитання та завдання для самоперевірки**

1. Навести класифікацію систем за походженням.
2. Навести класифікацію систем за об'єктивністю існування.
3. Які системи належать до технічних?
4. Які системи належать до технологічних?
5. Надати визначення формальним і матеріальним технологічним системам.

6. Які системи називають економічними?
7. Які системи називають соціальними?
8. Які системи називають організаційними?
9. Що означає термін «управління» і які системи належать до систем управління?
10. Надати визначення централізованим і децентралізованим системам.
11. Як класифікують системи за розміром?
12. Що таке гомогенні і гетерогенні системи?
13. Які системи можна віднести до лінійних і нелінійних?
14. Як поділяються системи залежно від здатності ставити собі мету?
15. Чи існує різниця між великими і складними системами?
16. Надати характеристику детермінованим і недетермінованим системам.
17. Яким чином класифікуються системи за ступенем організованості?
18. Надати визначення ентропії.

## ТЕМА 2. МЕТОДОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ СИСТЕМНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

### Лекція 4. Методологія системного аналізу

#### Основні ідеї системного аналізу

Будь-яка наукова, дослідницька і практична діяльність здійснюється на базі методів, методик і методологій.

**Метод** — це сукупність прийомів або операцій.

**Методика** — це сукупність методів, прийомів проведення будь-якої роботи.

**Методологія** (метод+логія) — це вчення про принципи побудови, формах і способах наукового пізнання.

Методологія системного аналізу базується на таких ідеях:

1. При вивченні складного об'єкта основна увага приділяється **зовнішнім зв'язкам** об'єкта з іншими системами (макропідхід).

*Наприклад, на фірмі виникла якась проблема (знизився обсяг продажів, зменшився прибуток тощо). Звичайний шлях розв'язку – пошук причин усередині фірми: недотримання технологічних приписів, порушення трудової дисципліни, неефективне керівництво тощо. Але може виявитися, що причини невдач лежать поза фірмою. Системний підхід передбачає розширення системи, тобто слід розглянути ринок: споживачів фірми, що конкурують, а якщо цього виявиться замало, то продовжити розширення – проаналізувати фінансову ситуацію в країні, податкову політику держави тощо. Пошук причин усередині системи призводить, зазвичай, до часткового (паліативного) рішення, яке можна переглядати і коригувати нескінченно.*

2. При вивченні складного об'єкта пріоритетним є його цілі і функції, а це є підставою для розробки його структури, а не навпаки. Таким чином системний аналіз передбачає **функціональний підхід**.

*Наприклад, нерідко створюється структура, яка наділяється якимись функціями. Результати роботи такої структури важко прогнозувати. Якщо це технічна система відомого призначення, то такий підхід не призводить до значних прорахунків. Але якщо система організаційна, то традиційний підхід призводить до значних помилок, тому що призначення таких систем достаменно невідомо і така невизначеність створює труднощі в управлінні. Системний підхід пропонує інший шлях: є мета (функція), яку структуру необхідно створити, щоби щонайкраще досягти заданої мети. Така стратегія дозволяє виробляти оптимальну стратегію, уникаючи дублювання і паралелізму функцій.*

3. При вирішенні проблем, пов'язаних із системами, необхідно зіставляти **необхідне і можливе, бажане і досяжне**, а також необхідні для цього **ресурси**.

*Наприклад, якщо виникає багато ідей і бажань, але не оцінюються наявні ресурси (фінансові, трудові, інформаційні та інші), то ці ідеї і бажання залишаються нереалізованими – довгострокові програми, нездійсненні проекти і, як результат, моральні наслідки.*

4. При ухваленні рішення в системах слід урахувувати **наслідки** рішень для всіх систем, яких воно стосується.

*Наприклад, на практиці часто ухвалюються рішення на різному рівні без урахування інтересів інших учасників. При реалізації таких рішень ці учасники починають йому (рішенню) пручатися, що призводить до жалюгідних наслідків для осіб, що ухвалюють рішення тому що вони не виконуються. (В Японії 90 відсотків часу витрачається на узгодження рішення з іншими учасниками процесу і 10 відсотків на його реалізацію).*

Об'єктивна тенденція сучасного світу – ускладнення систем, і це стосується не тільки глобальних, але й спеціалізованих систем. Як відповідь на потребу вивчення і дослідження складних систем виникає наука «Системний аналіз», основною проблемою якої є проблема прийняття рішень. Основними труднощами при дослідженні або створенні складних систем є:

- формулювання мети;
- опис системи за допомогою обраної системи показників;
- вимір і зіставлення показників для визначення і порівняння різних способів досягнення мети.

Перераховані завдання ускладнюються тим, що не вирішуються однозначно, тому що завжди є *невизначеність* вибору мети, вибору показників і схем їх порівняння.

### **Системність**

Перш ніж розглядати системну методологію, треба розібратися з поняттям «системний». Сьогодні широко використовуються такі поняття як «системний аналіз», «системний підхід», «системологія», «теорія систем», «принцип системності» та інші. При цьому їх не завжди розрізняють і часто застосовують як синоніми.

Найбільш загальним поняттям, яке позначає всі можливі прояви систем, є «системність». На рис. 4.1 наведено одна із існуючих структур системності.

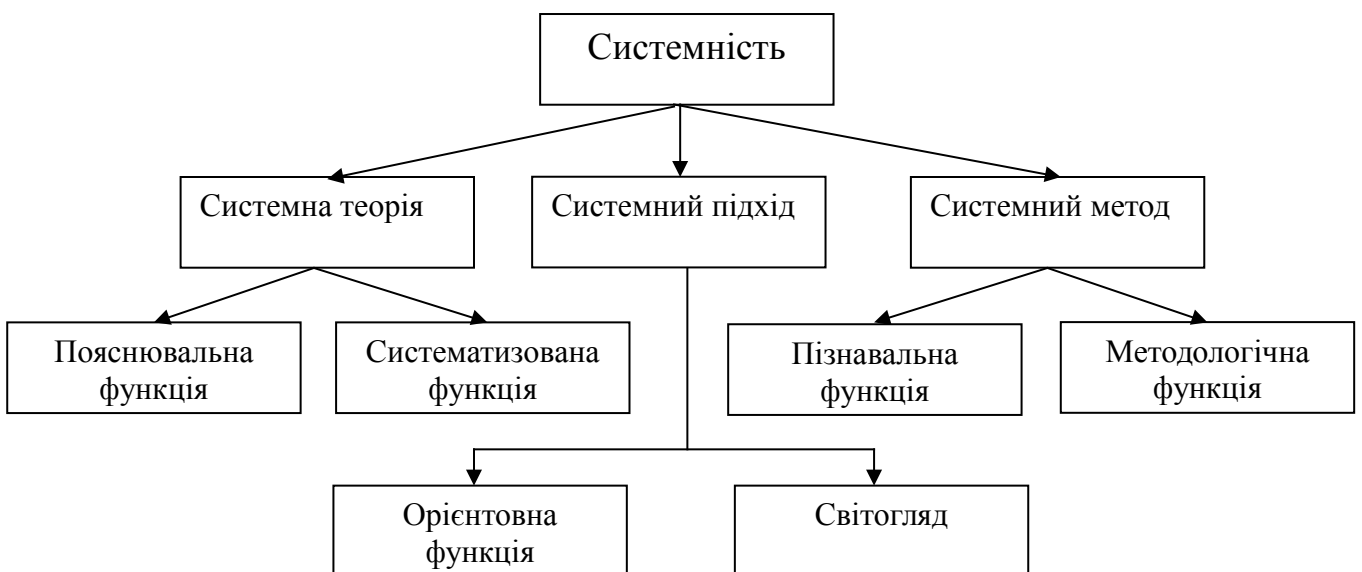


Рис. 4.1. Структура системності та її складові функції



## **Системна теорія**

Системна теорія (теорія систем) реалізує пояснювальну і систематизовану функції.

Це означає, що системна теорія дає строгі наукові знання про світ систем, пояснює походження, устрій і розвиток систем різної природи.

### **Системний підхід**

Системний підхід слід розглядати як методологічний підхід людини до реальності, що являє собою деяку спільність принципів, системний світогляд.

**Підхід** – це сукупність прийомів, способів впливу на будь-кого, у вивченні будь-чого, на ведення справи тощо.

**Принцип** можна розуміти як основне, вихідне положення будь-якої теорії або як найбільш загальне правило діяльності, яке забезпечує його правильність, але не гарантує однозначність і успіх.

Звідси випливає, що підхід – це деяка узагальнена система уявлень про те, як повинна виконуватися та або інша діяльність (але не детальний алгоритм дії), а **принцип діяльності** – безліч деяких узагальнених прийомів і правил. Сутність системного підходу можна визначити як методологію наукового пізнання і практичної діяльності, а також пояснювальний принцип, в основі яких покладено розгляд об'єкта як системи.

Системний підхід полягає у відмові від аналітичних, лінійно-причинних методів дослідження. Основний акцент при його застосуванні робиться на аналізі цілісних властивостей об'єкта, виявленні його різних зв'язків і структури, особливостей функціонування і розвитку. Системний підхід представляється досить *універсальним* підходом при аналізі, дослідженні, проектуванні і управлінні будь-яких складних технічних, економічних, соціальних, екологічних, політичних, біологічних та інших систем. Призначення системного підходу полягає в тому, що він направляє людину на системне бачення дійсності. Він змушує розглядати мир із системних позицій, точніше – з позицій його системного устрою. Таким чином, системний підхід, як принцип пізнання, виконує орієнтаційну і світоглядну функції, забезпечуючи не тільки бачення миру, але й орієнтацію в ньому.

### **Системний метод**

У системному аналізі використовуються методи:

- аналітичної ієрархії;
- дерева цілей;
- функціонального аналізу;
- формування експертних висновків;
- метод Дельфі;
- ділових ігор;
- функціонально-вартісного аналізу;
- мозкового штурму, сценаріїв, налагодження і тестування стратегічних припущень;
- комбінаторно-морфологічного аналізу і синтезу.

Системний метод реалізує пізнавальну і методологічну функції. Він виступає як деяка *інтегральна* сукупність щодо простих методів і прийомів пізнання, а також перетворення реальності. Кінцева мета будь-якої системної діяльності полягає у розробці рішень як на стадії проектування систем, так і при управлінні ними. У цьому контексті системний аналіз можна вважати сплавом *методології загальної теорії систем, системного підходу і системних методів обґрунтування і прийняття рішень*.

### **Природнонаукова методологія і системний підхід**

Системний аналіз не є чимось принципово новим у дослідженні навколишнього світу і його проблем – він базується на природнонауковому підході, коріння якого сягають у минулі століття. Центральне місце в дослідженні займають два протилежні підходи: *аналіз і синтез*.

*Аналіз* передбачає процес поділу цілого на частині. Він досить корисний у тому випадку, якщо потрібно з'ясувати, з яких частин (елементів, підсистем) складається система. За допомогою аналізу здобуваються *знання*. Однак при цьому не можна зрозуміти властивостей системи в цілому.

Завдання *синтезу* – побудова цілого із частин. За допомогою синтезу досягається *розуміння*.

Дослідження будь-якої проблеми складається із таких етапів:

- формулювання мети дослідження;
- визначення проблеми (акцентування головного, істотного, відкинувши малозначиме, несуттєве);
- опис (на рівні формалізації визначення єдиною мовою різнорідних за своєю природою явищ і факторів);
- установлення критеріїв (визначення понять «добре» і «погано» для оцінювання отриманої інформації і порівняння альтернатив);
- ідеалізація або концептуальне моделювання (уведення раціональної ідеалізації проблеми, спрощення її до припустимої межі);
- декомпозиція або аналіз (поділ цілого на частини, не втрачаючи властивостей цілого);
- композиція або синтез (об'єднання частин у ціле, не втрачаючи властивостей частин);
- розв'язок (знаходження розв'язку проблеми).

На відміну від традиційного підходу, коли проблема вирішується в строгій послідовності вищенаведених етапів, системний підхід полягає в наявності багатьох зв'язків у процесі рішення: етапи розглядаються спільно, у взаємозв'язку і діалектичній єдності. При цьому можливий перехід до будь-якого етапу і навіть повернення до формування мети дослідження. Головною ознакою системного підходу є наявність домінуючої ролі складного, а не простого, цілого, а не складових елементів. Якщо при традиційному підході до дослідження думка рухається від простого до складного, від частин – до цілого, від елементів – до системи, то в системному підході, навпаки, думка рухається від складного до простого, від цілого до складових частин, від системи до

елементів (рис. 4.2). При цьому ефективність системного підходу тим вища, чим до більш складної системи він застосовується.

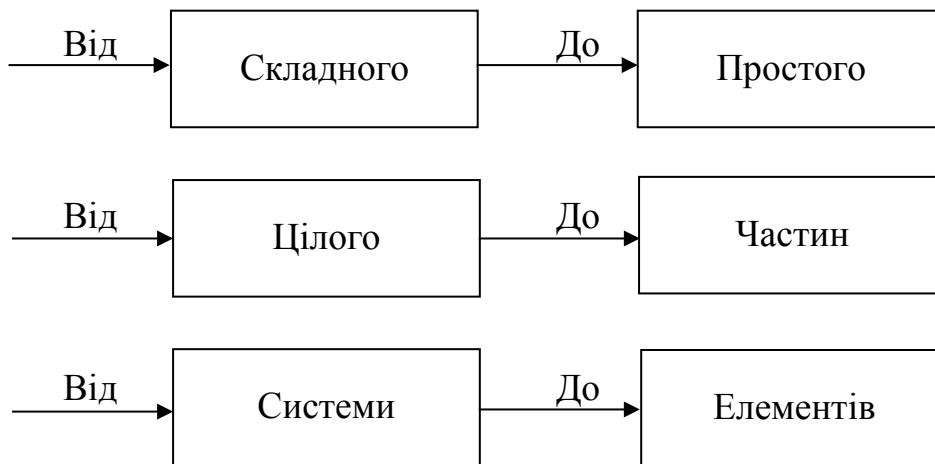


Рис. 4.2. Основні напрями дослідження при системному підході

### **Системна діяльність**

Щоразу, коли ставиться питання про технології системного аналізу, відразу ж виникають непереборні труднощі, пов'язані з тим, що відстояних технологій системного аналізу в практиці немає. Системний аналіз сьогоденності являє собою слабопов'язану сукупність прийомів і методів неформального і формального характеру. У системній мисленні поки частіше панує інтуїція. Ситуація погіршується ще й тим, що, незважаючи на піввікову історію розвитку системних ідей, немає однозначності в розумінні самого системного аналізу.

Таким чином, те, що називають системним аналізом, являє собою недостатньо інтегрований масив методів і прийомів системної діяльності. Нині згадування про системний аналіз можна знайти в багатьох роботах, пов'язаних з управлінням, розв'язком проблем. І хоча його цілком справедливо розглядають як ефективний метод вивчення об'єктів і процесів управління, методики системної аналітики в розв'язку конкретних управлінських завдань *практично відсутні*. Як свідчить Ю. П. Сурмин, «Системний аналіз у керуванні являє нині не розвинену практику, а наростаючі ментальні декларації, що не мають будь-якого серйозного технологічного забезпечення».

### **Запитання та завдання для самоперевірки**

1. Дати визначення поняттям: метод, методика, методологія.
2. Визначити основні ідеї системної методології.
3. Яке призначення системної теорії?
4. Визначити основні принципи системного підходу.
5. Які методи використовуються у системному аналізі?
6. Визначити основні етапи досліджень при традиційному підході.
7. У чому полягає різниця між традиційним і системним підходом при дослідженнях.

## **Лекція 5. Аналіз і проектування систем**

### **Підходи до аналізу і проектуванню систем**

При виконанні аналізу або проектуванні систем різних фахівців можуть цікавити різні аспекти: від внутрішнього устрою системи до організації управління в ній. У зв'язку з цим умовно виділяють такі підходи: *системно-елементний, системно-структурний, системно-функціональний, системно-генетичний, системно-комунікативний, системно-управлінський, системно-інформаційний.*

#### **Системно-елементний підхід**

Неодмінною складовою систем є їхні компоненти і частини, саме те, із чого утворене ціле і без чого воно неможливо. Системно-елементний підхід відповідає на запитання: *із яких елементів утворена система?* Цей підхід іноді називають «перерахуванням» системи. Його спочатку намагалися застосувати для дослідження складних систем. Однак перші ж спроби застосувати такий підхід до дослідження систем управління підприємствами і організаціями показали, що «перерахувати» складну систему практично *неможливо.*

#### **Системно-структурний підхід**

Компоненти системи не є набором випадкових невпорядкованих об'єктів. Вони інтегровані системою і є компонентами саме даної системи. Системно-структурний підхід спрямований на *виявлення компонентного складу системи і зв'язків між ними,* що забезпечуює цілеспрямоване функціонування. При структурному дослідженні предметом цих досліджень, зазвичай, є склад, структура, конфігурація, топологія тощо.

#### **Системно-функціональний підхід**

Мета в системі є однією з важливих системотворчих факторів. Але мета вимагає дій, спрямованих на її досягнення і саме вони є функціями системи, тобто, функції стосовно мети виступають як засоби її досягнення. Системно-функціональний підхід спрямований на розгляд *поведінки системи в середовищі для досягнення цілей.* При функціональній дослідженні розглядаються динамічні характеристики, стійкість, живучість, ефективність, тобто все те, що при незмінній структурі системи залежить від властивостей її елементів та їхніх відносин.

#### **Системно-генетичний підхід**

Будь-яка система не є незмінною, раз і назавжди заданою. Вона не абсолютна, не вічна головним чином тому, що їй властиві внутрішні протиріччя. Кожна система не тільки функціонує, але й рухається, розвивається, має свій початок, переживає час свого зародження і становлення, розвитку і розквіту, занепаду та загибелі. А це означає, що *час* є неодмінним атрибутом системи, що будь-яка система історична. Системно-генетичний (або системно-історичний) підхід спрямований на вивчення системи з погляду її *розвитку в часі.* Системно-генетичний підхід визначає *генезис* – виникнення, походження і становлення об'єкта як системи.

#### **Системно-комунікативний підхід**

Кожна система завжди є елементом (підсистемою) іншої системи більш високого рівня, і сама, у свою чергу, утворена з підсистем більш низького рівня.

Інакше кажучи, система пов'язана безліччю відносин (комунікацій) із всілякими системними і несистемними утвореннями. Системно-комунікативний підхід спрямований на вивчення системи з погляду її *відносин з іншими, зовнішніми* стосовно неї, системами.

### **Системно-управлінський підхід**

Система постійно зазнає збурювання. Це, насамперед, внутрішні збурювання, що є результатом внутрішньої суперечливості будь-якої системи. Це і зовнішні збурювання, які далеко не завжди сприятливі: недолік ресурсів, жорсткі обмеження тощо. Тим часом система живе, функціонує, розвивається. Виходить, що поряд зі специфічним набором компонентів, внутрішньою організацією, структурою тощо, є й інші системотворчі, системозберігаючі фактори. Ці фактори забезпечення стійкості життєдіяльності системи називають *управлінням*. Системно-управлінський підхід спрямований на вивчення системи з погляду *забезпечення її цілеспрямованого функціонування* в умовах внутрішніх і зовнішніх збурювань.

### **Системно-інформаційний підхід**

Управління в системі неможливе без передачі, одержання, зберігання й обробки інформації. Інформація – це засіб зв'язку компонентів системи один з одним, кожного з компонентів із системою в цілому, а системи в цілому – із середовищем. Таким чином, не можна розкрити сутність системності без вивчення її інформаційного аспекту. Системно-інформаційний підхід спрямований на вивчення системи з погляду *передачі, одержання, зберігання й обробки даних* усередині системи і її *зв'язків із середовищем*.

### **Методики проведення системного аналізу**

Кінцева мета системного аналізу – надання допомоги в розумінні і розв'язку наявної проблеми, що зводиться до його пошуку і вибору варіанта. Результатом буде обрана альтернатива або у вигляді управлінського рішення, або у вигляді створення нової системи (зокрема, системи управління), або реорганізації старої, що знову ж таки є управлінським рішенням. Неповнота інформації про проблемну ситуацію утрудняє вибір методів її формалізованого уявлення і не дозволяє сформувати математичну модель.

У цьому випадку виникає необхідність у розробці методик проведення системного аналізу. Потрібно визначити послідовність етапів системного аналізу, рекомендувати методи для виконання цих етапів, передбачити при необхідності повернення до попередніх етапів. Така послідовність певним чином виділених і впорядкованих етапів у комбінації з рекомендованими методами і прийомами їхнього виконання являє собою структуру методики системного аналізу. Практики бачать у методиках важливий інструмент для вирішення проблем своєї предметної області. Але, незважаючи на величезний арсенал різноманітних методик, слід визначити, що універсальних методів і методик *не існує*. У кожній предметній області для різних типів проблем системному аналітикові доводиться розробляти *свою* методику системного аналізу на базі безлічі принципів, ідей, гіпотез, методів і методик, накопичених в області теорії систем і системного аналізу.

Спеціалістами пропонується такий перелік процедур системного аналізу:

1. Визначення порогів системи, що досліджується.

2. Визначення всіх підсистем, в які входить система як частина. Виходячи із взаємозв'язку всіх сфер життя сучасного суспільства, будь-який об'єкт слід вивчати як складову частину багатьох систем: економічних, політичних, державних, регіональних, соціальних, екологічних, міжнародних.

3. Визначення основних рис і напрямків розвитку всіх надсистем, до яких належить дана система, зокрема, формулювання їхньої мети і протиріч між ними.

4. Визначення ролі системи в кожній надсистемі, розглядаючи цю роль як засіб досягнення цілей надсистеми. Слід розглянути при цьому два аспекти: ідеалізовану, очікувану роль системи з погляду надсистеми, тобто ті функції, які варто було б виконувати, щоб реалізувати цілі надсистеми, а також реальну роль системи в досягненні цілей надсистеми.

5. Виявлення складу системи, тобто визначення частин, з яких вона складається.

6. Визначення структури системи, що являє собою сукупність зв'язків між її компонентами.

7. Визначення функцій активних елементів системи, їхній внесок у реалізацію ролі системи в цілому. Принципово важливим є гармонійна, несуперечлива комбінація функцій різних елементів системи. Ця проблема особливо актуальна для підрозділів, цехів великих підприємств, чиї функції часто багато в чому не зістиковані, недостатньо підлеглі загальному задуму.

8. Виявлення причин, що поєднують окремі частини в систему, у цілісність. Вони мають назву інтегруючих факторів, до яких, у першу чергу, належить людська діяльність. У ході своєї діяльності людина усвідомлює власні інтереси, визначає цілі, здійснює практичні дії, формуючи системи засобів для досягнення цілей. Вихідним, первинним інтегруючим фактором є мета. Мета у будь-якій сфері діяльності являє собою складну комбінацію різних суперечливих інтересів. У перетинанні подібних інтересів, у своєрідній їхній комбінації полягає справжня мета. Всебічне пізнання її дозволяє судити про ступінь стійкості системи, про її несуперечності, цілісність, а також передбачити характер її подальшого розвитку.

9. Визначення всіх можливих зв'язків, комунікацій системи із зовнішнім середовищем. Для дійсно глибокого, всебічного вивчення системи недостатньо виявити її зв'язки з усіма підсистемами, до яких вона належить. Необхідно ще пізнати такі системи у зовнішньому середовищі, до яких належать компоненти досліджуваної системи. Усвідомлення органічної, хоча і суперечливої єдності всіх систем, що оточують систему, дозволяє розуміти причини її цілісності, запобігати процесам, що ведуть до дезінтеграції.

10. Розгляд системи у динаміці, у розвитку. Для глибокого розуміння будь-якої системи не можна обмежуватися розглядом коротких проміжків часу її існування і розвитку. Доцільно, по можливості, досліджувати всю її історію, виявити причини, що спонукали створити цю систему, визначити інші системи, з яких вона виростала і будувалася. Також важливо вивчати не тільки історію

системи або динаміку її нинішнього стану, але й спробувати, використовуючи спеціальні прийоми, побачити розвиток системи в майбутньому, тобто прогнозувати її майбутні стани, проблеми, можливості. Судити про будь-яку систему не можна лише по «моментальній фотографії», по одному значенню будь-якого параметра, необхідно досліджувати зміни параметрів у динаміці.

Така послідовність процедур системного аналізу може не бути обов'язковою і закономірною. Обов'язковим є скоріше сам перелік процедур, ніж їхня послідовність. Єдине правило полягає в доцільності багаторазового повернення у ході дослідження до кожної з описаних процедур. Тільки це є запорукою глибокого і всебічного вивчення будь-якої системи.

### **Застосування системного підходу до розв'язку транспортних проблем**

У сучасній транспортній науці всебічне поширення отримали нові наукові напрямки і методи. Серед них економіко-математичні методи і різноманітні види моделювання транспортних процесів. Однак системний підхід і системний аналіз при вирішенні транспортних проблем використовуються досить рідко і не повною мірою.

Серед обмеженої кількості прикладів використання системного підходу на транспорті привертає увагу монографія Артинова А. П і Кондратьєва Г. А. «Управління взаємодією транспортних систем».

Автори застосували методологію системного аналізу до аналізу транспортних систем для вивчення і удосконалення роботи загальнотранспортного вузла і транспортного комплексу Далекосхідного регіону. Методика запропонованого аналізу включала:

- аналіз діючих систем керування видами транспорту;
- аналіз функціонування складу транспортних автоматизованих систем управління, їхнього технічного, інформаційного, математичного, організаційного, правового і кадрового забезпечення;
- аналіз форм впливу видів транспорту і транспортної системи на суміжні галузі народного господарства;
- визначення функцій і конкретних завдань автоматизованої системи управління транспортного регіону (РАСУТ) і загальнотранспортних вузлів (АСУТВ);
- обґрунтування критеріїв оптимальності розв'язку загальнотранспортних завдань;
- дослідження всіх видів забезпечення РАСУТ і АСУТВ.

На основі проведених досліджень будується модель системи, уточнюються цілі, критерії і обмеження. У рамках моделі системи здійснюється оцінювання якості виконуваних функцій управління. Кінцевим результатом аналізу є пропозиції щодо розробки автоматизованої системи управління, що зводяться до синтезу організаційно-функціональної структури системи і підсистем, що її забезпечують.

Сучасним прикладом використання системного аналізу транспортних процесів є робота Орловського П. Н. і Скворцова Г. П. «Системний аналіз проблем транспортних вузлів».

Проблеми транспортних вузлів (Маріупольського, Іллічівського і Дніпропетровського) вирішуються на основі системного аналізу із застосуванням розробленого авторами імітаційно-динамічних діалогових моделей (ІДДМ) у комп'ютерній реалізації. Моделі ІДДМ утворюють цілий клас *різних* механізмів моделювання. Ці відмінності пов'язані не тільки із необхідністю їхньої модифікації для вирішення різних проблем і об'єктів, але й залежно від рівня ієрархії, на якому розглядаються ці проблеми, а також від того, що моделі будуються по-різному для оперативних і перспективних розрахунків. Крім того, моделі типу ІДДМ можуть застосовуватися не тільки для вирішення проблем транспортних вузлів, але й для інших підрозділів і регіонів транспортної системи України.

#### **Запитання та завдання для самоперевірки**

1. Перерахувати існуючі підходи до аналізу і проектування систем.
2. У чому полягає сутність системно-елементного підходу?
3. Що являє собою системно-структурний підхід?
4. Яка основна теза притамана системно-функціональному підходу?
5. Що визначає системно-генетичний підхід?
6. Які основні принципи закладені у системно-комунікативний підхід?
7. На що спрямований системно-управлінський підхід?
8. Який сенс закладено в системно-інформаційний підхід?
9. Надати перелік процедур системного аналізу.
10. Яким чином використовуються напрацювання в області системного аналізу в управлінні сучасними транспортними системами?



### ТЕМА 3. МЕТОДИ СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ

#### Лекція 6. Системний підхід до прогнозування

**Прогноз** – це обґрунтоване судження про можливий стан об'єкта в майбутньому або альтернативні шляхи і терміни досягнення цих станів.

Процес розробки прогноза називається **прогнозуванням**. Прогнозування знайшло широке застосування в багатьох областях людської діяльності, особливо в задачах управління.

Під методами прогнозування мається на увазі сукупність прийомів мислення, способів, що дозволяють на основі аналізу інформації про попередній і поточний стан об'єкта винести відносно достовірне судження про його майбутній розвиток. Тип методу залежить від типу об'єкта. Існує велика кількість класифікацій видів прогнозів за різними класифікаційними ознаками.

#### Постановка задачі прогнозування

Прогнозування означає передбачення стану будь-якого об'єкта, процесу або явища в майбутньому. Фактично кожний прогноз дає відповідь на запитання: «Що буде, якщо...?».

Завдання прогнозування в самому загальному вигляді можна поставити у такий спосіб: для деякого прогнозованого показника  $P$ , необхідно визначити його значення  $P_s$  у деякий заданий момент часу в майбутньому  $s$ .

Час  $s$  – це час **упередження**, тобто проміжок часу, на який розробляється прогноз.

За часом упередження прогнозування поділяється на *поточне*, *короткострокове*, *середньострокове*, *довгострокове* та *наддовгострокове*. Залежно від характеру і мети прогнозування діапазон кожного з видів прогнозу може простягатися від часток секунди (наприклад, у фізиці) до мільярдів років (у космології). В економічних і суспільних науках за часом упередження розглядають прогнози: короткострокові (1÷2 року), середньострокові (5÷10 років), довгострокові (15÷20 років) і наддовгострокові (30÷100 років).

Найпоширеніший такий підхід до прогнозування: аналізується часовий ряд значень прогнозованого показника, встановлюється закономірність зміни показника в часі, а потім ця закономірність екстраполюється на майбутні моменти часу.

Однак такий підхід не завжди дає задовільний прогноз, оскільки заснований на обрахунку тільки частини причин, за якими відбувається зміна прогнозованого показника. Для підвищення точності прогнозу необхідно провести *системний аналіз*: визначити фактори, що діють в об'єкті дослідження, і оцінити їхній вплив на прогнозований показник. На підставі результатів аналізу можна вибирати методи прогнозування, які найбільш придатні для розв'язку конкретного завдання.

Основу прогнозування становлять або причинно-наслідкові зв'язки між прогнозованим показником і факторами, що на нього впливають, або інерційні властивості об'єкта (у цьому випадку причиною є час).

Основою будь-якого прогнозування є гіпотеза про інерційність об'єкта. Причому інерційність можна розглядати не тільки тимчасову (у наступні

моменти часу прогнозований показник буде змінюватися у тому ж напрямку, що й зараз), але й більш широко – інерційність функціональну. У цьому випадку функціональна залежність прогнозованого показника від факторів, що на нього впливають (в окремому випадку це може бути й час), відома на деякому інтервалі зміни цих факторів і триває за межами цього інтервалу.

На інерційності побудовано метод *екстраполяції* (від латинської *extra* – понад і *polio* – пригладжую, виправляю). Екстраполяція – це поширення результатів, отриманих зі спостережень над однією частиною явища, на іншу його частину. Екстраполяція закономірностей – це перенесення закономірностей, виявлених на одному матеріалі й одному класі задач, на інший матеріал і інший клас задач. З математичної точки зору екстраполяція – це наближене визначення значень функції  $F(x)$  у точках  $x$  (вузлах інтерполяції), що знаходяться поза відрізком  $[x_0, x_n]$ , за її значеннями в точках  $x_0 < x_1 < \dots < x_n$ .

### **Причини зміни прогнозованого показника**

При прогнозуванні значення показника доцільно визначити причини його зміни, які можна поділити на *зовнішні* та *внутрішні*.

До *зовнішніх* причин належать зміни збудуючих змінних, керуючих змінних та неконтрольованих змінних (шумів або перешкод).

До *внутрішніх* причин належать такі властивості об'єкта, як динамічність (інерційність), нестационарність, цілеспрямованість (активність).

### **Вплив збудуючих та керуючих змінних**

Якщо зневажати іншими причинами, то вплив збудуючих та керуючих змінних (позначимо їх символом  $X$ ) на прогнозований показник можна уявити у вигляді математичної моделі:

$$P=F(X). \quad (6.1)$$

Якщо відома функція  $F$  і значення вхідної змінної  $X_s$  в заданий час у майбутньому  $s$ , можна обчислити значення прогнозованого показника  $P_s$ :

$$P_s=F(X_s). \quad (6.2)$$

### **Вплив неконтрольованих змінних**

Якщо збудуючі і керуючі змінні не змінюються до моменту часу  $s$ , а єдиною причиною зміни прогнозованого показника  $P$  є шуми  $\varepsilon$ , то модель матиме вигляд:

$$P=F(\varepsilon). \quad (6.3)$$

У цьому випадку побудова математичної моделі типу (6.3) є проблематичною, тому що найчастіше невідомі причини і значення неконтрольованої змінної  $\varepsilon$ . Єдине, що відомо, це те, що при нульовому середньому значенні  $\varepsilon$  значення прогнозованої змінної в *середньому* не зміниться.

### **Вплив динамічності**

Динамічні системи, зазвичай є інерційними, тобто навіть при відсутності змін вхідних змінних вихідна змінна продовжує змінюватися. Це пояснюється впливом *часу* на показник.

Якщо дані належать до деякого періоду часу, у межах якого вхідні змінні можна вважати незмінними, функціонування прогнозованого показника можна визначити моделлю:

$$P(t)=F(t). \quad (6.4)$$

Це характерно для систем, що містять інерційні, інтегруючі, коливальні і диференційні ланки.

### **Вплив нестационарності**

У нестационарній системі відбувається зміна її структури й/або параметрів. У моделі (6.1) прогнозований показник залежить не тільки від вхідних змінних, але й від вектора параметрів (коефіцієнтів)  $A$ . Тоді більш точне уявлення моделі (6.1) буде таким:

$$P=F(X, A). \quad (6.5)$$

Якщо система стаціонарна, то при зміні вхідних впливів модель (6.5) можна записати:

$$P(t)=F(X(t), A). \quad (6.6)$$

Для нестационарної системи при незмінних зовнішніх впливах на об'єкт модель буде мати вигляд:

$$P(t)=F(X, A(t)) \quad (6.7)$$

або:

$$P(t)=F(A(t)). \quad (6.8)$$

У цьому випадку задача прогнозування показника  $P$  зіткнеться із проблемою прогнозування значення параметрів  $A$ . Якщо вона буде вирішена успішно і буде побудована модель (6.8), то можна сподіватися і на розв'язок основної задачі. Зміна параметрів може бути монотонною, випадковою або керованою. У першому випадку параметри є функціями часу  $A(t)$ , що відповідає розглянутій вище задачі побудови динамічної моделі типу (6.4). У другому – параметри змінюються випадковим чином. Це можна розглядати як вплив неконтрольованих змінних – модель типу (6.3).

При керованій зміні параметрів об'єкт не є нестационарним і може розглядатися як модель типу (6.5).

### **Вплив цілеспрямованості (активності)**

До цілеспрямованих належать об'єкти, елементам яких є люди. У таких об'єктах кожна окрема людина або група людей здатні поставити свої цілі й діяти відповідно до них. У цьому випадку структура залежностей типу (6.1), (6.4) або (6.5) уже сама буде змінюватися в часі, навіть при незмінних  $X$ ,  $A$  або  $\varepsilon$  і формальні методи прогнозування тут майже непридатний.

### **Вибір методу прогнозування**

Усього відомо біля двохсот методів прогнозування, які базуються на трьох основних підходах:

- *екстраполяційному*, коли єдиною причиною зміни прогнозованого показника вважається час (використовується інерційність процесів у часі);
- *модельному*, при якому визначається функціональна залежність прогнозованого показника від факторів, що на нього впливають;
- *експертному* – прогноз на підставі суджень експертів.

## Екстраполяційний підхід

Сутність екстраполяційного підходу полягає у встановленні закономірності змін прогнозованого показника за попередні часи спостережень з наступною екстраполяцією цієї зміни на прогнозний час (час упередження). При екстраполяційному підході єдиною причиною зміни прогнозованого показника є час, тому цей підхід придатний тільки для прогнозування *динамічних* процесів. Простота і наочність застосування цього підходу визначили його поширення при прогнозуванні економічних показників, які являють собою відображення динамічних процесів.

Динаміку зміни економічних показників відображають за допомогою часових рядів. При аналізі динамічних рядів досліджується тенденція розвитку системи, тобто її загальний напрямок розвитку, який можна уявити у вигляді деякої функції від часу або тренду.

Для виявлення тренду зазвичай користуються згладжуванням, зокрема методом середнього, що ковзає. Недоліком цього методу є те, що при цьому знищуються важливі дрібні вигини в тренді.

Більш точну модель можна отримати шляхом побудови аналітичної моделі  $P=F(t)$ , для якої потрібно визначити вигляд функції (кривої росту), її коефіцієнти з наступним оцінюванням точності отриманої моделі.

Функції, що описують закономірності розвитку явища в часі, отримані шляхом аналітичного вирівнювання динамічних рядів, одержали назву *кривих росту*.

Основним є питання про вибір типу кривої і помилка на цьому етапі більш вагома за своїми наслідками ніж помилка в оцінюванні параметрів. Багаторічні дослідження часових рядів в економіці, соціології, політиці, демографії та інших економіко-суспільних науках дозволили виявити ряд найпоширеніших кривих росту, що описують відповідні явища в цих науках.

Найчастіше застосовуються такі прості функції, як:

- багаточлени (поліноми);
- експоненти;
- логістичні криві.

Багаточлен  $n$ -го ступеня має вигляд:

$$P(t)=a_0+a_1t+a_2t^2+\dots+a_nt^n. \quad (6.9)$$

Існує теорема Вейерштрасса, яка стверджує, що будь-яку функцію на заданому інтервалі можна доволі точно відтворити багаточленом  $n$ -го ступеня.

Екстраполяційний підхід застосовується, якщо зміна прогнозованого показника пов'язана тільки з динамічними процесами, і причинами зміни  $P$  можуть бути:

- перехідні процеси, що відбуваються в об'єкті;
- динамічні процеси в об'єкті, що призводять до зміни його параметрів  $A(t)$ ;
- динамічні процеси, що протікають поза об'єктом, наслідком чого можуть бути зміни збуджуючих  $X(t)$  і неконтрольованих змінних  $\varepsilon(t)$ .

У загальному вигляді це можна описати такою моделлю:

$$P(t)=F(X(t), A(t), \varepsilon(t), t) \quad (6.10)$$

### Модельний підхід

При модельному підході визначається функціональна залежність прогнозованого показника від факторів, що на нього впливають. Цей підхід є найбільш складним і наукомістким, але й дає найбільш реалістичний прогноз.

Якщо зміну прогнозованого показника можна визначити як функцію часу, застосовують авторегресійну модель, яка пов'язує значення показника в деякий момент часу  $s$  з його значенням у попередні моменти часу:

$$P(s)=F(P(s-1), P(s-2), \dots). \quad (6.11)$$

Якщо зміна прогнозованого показника залежить не тільки від часу, застосовують моделі, які враховують збурюючі і керуючі змінні.

У цьому випадку вважається, що прогнозована змінна залежить від множини різноманітних факторів  $X=\{x_1, \dots, x_n\}$ , які, у свою чергу, можуть змінюватися з часом. Будуються як найпростіші моделі (6.1), так і більш складніші, що враховують  $X$  і час  $t$ :

$$P(t)=F(X(t), X(t-1), X(t-2), \dots, t), \quad (6.12)$$

а також авторегресійні складові:

$$P(t)=F(P(t-1), P(t-2), \dots, X(t), X(t-1), X(t-2), \dots, t). \quad (6.13)$$

Побудова таких моделей може стати проблематичною. По-перше, досить складно сформулювати структуру моделі, а саме, відібрати значимі фактори. По-друге, це, зазвичай, нестача експериментальних даних.

### Оцінювання точності прогнозних моделей

Для оцінювання параметрів прогнозної моделі застосовується традиційний метод найменших квадратів.

Що стосується точності моделі, то оцінити її можна тільки через той термін, на який прогнозується змінна  $P$ . Звичайно, такий шлях пізнання не може задовольнити розробників моделі. Для оцінювання правильності роботи моделі існує такий метод: декілька ( $k$ ) останніх значень членів часового ряду вважаються за прогнозні значення і для них розробляється прогноз ( $p_i^m, i=1, \dots, k$ ) на базі членів ряду, що залишилися. Серед прогнозних моделей обирається та, яка має мінімальне значення  $D$ :

$$D = \sum_{i=1}^k (p_i^m - p_i)^2 \rightarrow \min. \quad (6.14)$$

На точність прогнозу впливають такі фактори:

– Обсяг статистики або довжина передісторії. З точки зору математичної статистики, чим більший обсяг, тим точніше прогноз, але при значному впливі економічних і політичних процесів цей фактор не працює.

– Стабільність тенденції зміни прогнозованого показника. На жаль випадок, коли *всі* дані належать до поточної тенденції, трапляється не дуже часто.

– Глибина або інтервал прогнозу. Чим більше інтервал прогнозу, тим більше зростає помилка прогнозу. За емпіричним правилом довжина передісторії повинна як мінімум утроє перевищувати інтервал прогнозу.

### **Експертний підхід**

**Експертний підхід** ґрунтується на експертних оцінках фахівців у своїй області. **Експерт** – це кваліфікований фахівець у досліджуваній галузі.

**Експертні оцінки** – це неформальний прогноз, заснований на досвіді й інтуїції експертів.

Експертний прогноз застосовують у випадках, коли прогнозований показник або фактори, що на нього впливають, вимірюються в якісних шкалах або, коли відсутня репрезентативна статистика.

Сутність експертних методів прогнозування базується на підставі суджень експертів разом з кількісними методами оцінювання і обробки отриманих результатів. Експертні оцінки можуть бути *індивідуальними* і *колективними*.

**Індивідуальні** експертні оцінки бувають двох типів: на основі *інтерв'ю* і *аналітичні*.

У процесі *інтерв'ю* прогнозист за заздалегідь складеною програмою задає питання експерту щодо майбутнього стану процесу або об'єкта

При *аналітичній* експертизі робота експерта спрямована на аналіз тенденцій і оцінювання майбутнього стану прогнозованого процесу або об'єкта.

Застосування *колективних* оцінок сприяє підвищенню точності прогнозу. Методи колективних експертних оцінок поділяють на *метод комісій*, *метод відносної оцінки* і *метод Дельфі*.

**Метод комісій** полягає у проведенні групою експертів дискусії для визначення загальної позиції з питань майбутнього стану і розвитку прогнозованого об'єкта. При реалізації цього методу експерти можуть висловлювати взаємовиключні думки і *наполювати* на власній позиції і це можна віднести до недоліків методу.

При **методі відносної оцінки** експерти висловлюють будь-які свої судження без права критики іншими членами і тільки потім аналізують ці оцінки і роблять відповідні висновки. Учасниками колективу експертів можуть бути не тільки фахівці по обговорюваній проблемі, а й фахівці з інших галузей знань.

При реалізації **методу Дельфі** безпосередні колективні дебати замінюються індивідуальними опитуваннями у вигляді заповнення експертами таблиць експертної оцінки. Потім відповіді експертів узагальнюються і доповнюються додатковою інформацією, після чого знову передаються експертам для уточнення відповідей. Таким чином процедура повторюється до прийняттого збігу думок. Метод дістав назву завдяки давньогрецькому місту Дельфі, відомому своїми оракулами.

Перевагою експертних методів є відносна простота і застосування в умовах неповної інформації, а недоліком – суб'єктивність експертів і невисока точність методу, яка може бути пояснена неповнотою наданої інформації.

## Запитання та завдання для самоперевірки

1. Дати визначення прогнозові.
2. Що слід розуміти під методом прогнозування?
3. Визначити основні складові прогнозування.
4. Які дві основні причини зміни прогнозованого показника?
5. Визначити і надати характеристику зовнішнім впливам на зміну прогнозованого показника.
6. Визначити і надати характеристику внутрішнім впливам на зміну прогнозованого показника.
7. На яких основних підходах базується вибір методу прогнозування?
8. У чому полягає сутність екстраполяційного підходу до прогнозування?
9. У чому полягає сутність модельного підходу до прогнозування?
10. Які фактори впливають на точність прогнозу?
11. У чому полягає сутність експертного підходу до прогнозування?
12. Як відбувається процес індивідуального оцінювання?
13. Як відбувається процес колективного оцінювання?

## Лекція 7. Системний аналіз ієрархічних структур

### Метод аналітичної ієрархії

Метод аналітичної ієрархії (МАІ) був запропонований американським вченим Томасом Сааті у сімдесятих роках минулого століття і ґрунтувався на теорії, що відображає природну ходу людського мислення.

У процесі мислення визначаються об'єкти або ідеї і відносини між ними. При визначенні будь-чого людина робить декомпозицію складної події, з якою зустрічається, а виявивши відносини, тим самим здійснює синтез. Фундаментальний процес, що лежить в основі пізнання, містить у собі *декомпозицію* (аналіз) і *синтез*. Для практичних цілей система часто розглядається в термінах її *структури* і *функцій*. Структура і функції системи не можуть бути розділені. **Структура** слугує засобом для аналізу функцій. **Функціонування** змінює динаміку структури.

**Ієрархія** – це співвідпорядкованість, будь-який узгоджений за підпорядкованістю порядок об'єктів. Термін спочатку виник як найменування «службової драбини» в релігії, потому став застосовуватися для характеристики взаємовідношень в апараті управління державою, армією тощо.

Ієрархія є деякою абстракцією, яка може приймати різні родинні форми, у кожній з яких провадиться спускання із вершини (загальної мети) униз до підцілей, далі до сил, які впливають на ці підцілі, до людей, що впливають на ці сили, до цілей окремих людей, до їхніх політиків, ще далі до стратегій, і, нарешті, до наслідків, що є результатами цих стратегій.

Проблема зазнає декомпозиції на найпростіші елементи з наступною оцінкою експерта щодо ступеня взаємодії елементів отриманої структури.

Дуже часто при аналізі структури число елементів та їх взаємозв'язки настільки великі, що перевищують можливості дослідника сприймати інформацію в повному обсязі. Елементи кожного рівня ієрархії перебувають під впливом елементів вищого рівня, які, у свою чергу, впливають на елементи

нижчого рівня. Метод аналітичної ієрархії базується на припущенні, що елементи кожної групи ієрархії є незалежними. Групу ієрархії в цьому випадку називають **рівнем, кластером** або **стратою**. Кластери дозволяють досліджувати функціональну взаємодію компонентів системи та їхній вплив на систему в цілому.

Елементи ієрархії в МАІ порівнюються попарно щодо їхньої дії на загальну для них характеристику.

Матриці попарних порівнянь будуються для всіх елементів-нащадків, які належать відповідному елементу-предку. Локальні пріоритети є множиною головних власних векторів для кожної із зворотньоосиметричних матриць ієрархії.

Кількісними характеристиками непослідовності тверджень експерта є *індекс узгодженості* і *відношення узгодженості*.

Основним завданням методу аналітичної ієрархії є обчислення глобальних пріоритетів альтернатив, тобто пріоритетів альтернатив щодо всієї ієрархії.

На рис. 7.1 наведені рівні ієрархії за запропонованим Т. Сааті змістом:

- на вершині ієрархії розміщується фокус або генеральна мета;
- на другому рівні ієрархії розташовуються економічні, політичні й соціальні сили, які впливають на результат;
- третій рівень становлять актори, які маніпулюють цими силами;
- четвертий рівень формують цілі кожного актора;
- на п'ятому рівні описуються можливі сценарії або результати, яких прагне досягти кожен актор, застосовуючи свої політики.

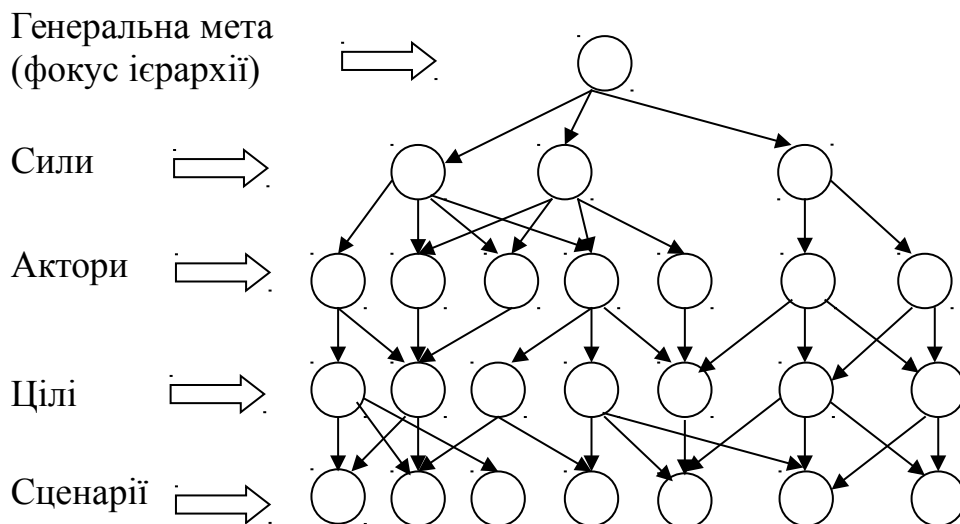


Рис. 7.1. Зміст рівнів ієрархії в МАІ за Сааті

Останній рівень ієрархії – узагальнюючий результат, який є результатом реалізації всіх цих сценаріїв і являє собою комбінацію спроб різних акторів сформулювати його таким чином, щоб задовольнити *свої* інтереси.



## Приклад реалізації методу аналітичної ієрархії

### Постановка задачі

Локомотивне депо має за мету придбання нового локомотиву. Серед трьох альтернативних варіантів (марки *B*, *C*, *D*) потрібно зробити вибір за критеріями: 1 – вартість; 2 – продуктивність; 3 – країна-виробник.

Модель структури ієрархії наведена на рис. 7.2.

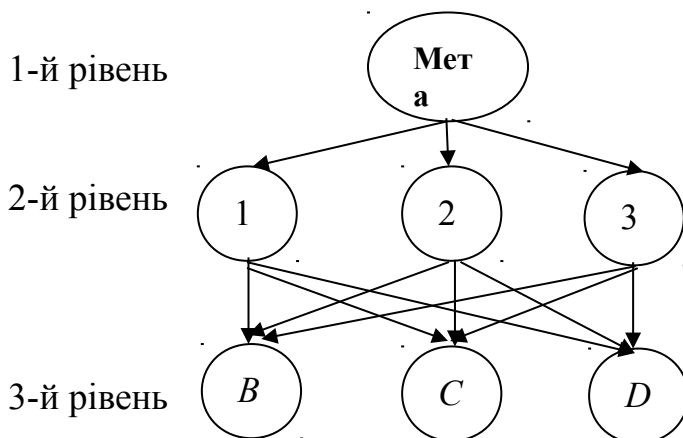


Рис. 7.2. Ієрархія обрання типу локомотиву

### Твердження експерта

Кількість попарних порівнянь розраховується за формулою:  $n(n-1)/2$ , де  $n$  – кількість критеріїв (розмір матриці). Для другого рівня структури ієрархії (рис. 7.2) кількість тверджень дорівнює:  $3(3-1)/2=3$ .

Для порівняльного оцінювання трьох критеріїв експерт надає оцінки у вигляді тверджень, які базуються на шкалі відносної важливості МАІ, табл. 7.1:

1. вартість (1) суттєво переважає країну-виробника (3);
2. вартість (1) рівно важлива продуктивності (2);
3. продуктивність (2) помірно переважає країну-виробника(3).

Таблиця 7.1

### Шкала відносної важливості МАІ

Бал, $k$	Визначення	Примітка
1	Рівна важливість	Рівний вклад двох видів діяльності в мету
3	Помірна перевага	Легка перевага одного виду діяльності над іншим
5	Суттєва перевага	Відчутна перевага одного виду діяльності над іншим
7	Значна перевага	Практично значна перевага одного виду діяльності над іншим
9	Дуже велика перевага	Очевидна перевага – домінування одного виду над іншим
2, 4, 6, 8	Проміжні значення	Застосовується в перехідний період
$1/k$	Обернені величини	Використовується для оцінки не переважаючих видів діяльності

### Матриця попарних порівнянь другого рівня ієрархії

На основі тверджень експерта формується матриця попарних порівнянь (7.1), рядки і стовпчики якої відповідають трьом критеріям, тобто матриця є симетричною.

$$A = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 5 \\ 1 & 1 & 3 \\ 1/5 & 1/3 & 1 \end{vmatrix} \quad (7.1)$$

Матриця будується для кожного елемента-предка і її розмір  $n \times n$  визначається кількістю безпосередніх нащадків  $n$  у цього елемента-предка. Якщо, наприклад, елемент-нащадок  $B_i$  домінує над іншим елементом-нащадком  $B_j$ , то експерт визначає ступінь домінування, використовуючи наведену вище шкалу в термінах визначень, і відповідне значення в балах присвоюється елементу  $a_{ij}$ , а значення  $1/a_{ij}$  – елементу  $a_{ji}$ . Якщо  $B_i$  є кращою ніж  $B_j$  в  $a_{ij}$  разів, то  $B_j$  «кращий» за  $B_i$  в  $1/a_{ij}$  разів або, що еквівалентно,  $B_j$  гірший за  $B_i$  в  $a_{ij}$  разів. Таким чином, матриця попарних порівнянь є обернено симетричною, тобто для всіх її елементів  $a_{ij}=1/a_{ji}$ , а елементи головної діагоналі є одиницями.

### Формування локальних пріоритетів

Локальні пріоритети обчислюються із застосуванням матриці попарних порівнянь (7.1) шляхом обчислення середнього геометричного її рядків за формулою:

$$L_i = \sqrt[n]{\left(\prod_{j=1}^n a_{ij}\right)} / \sum_{i=1}^n \sqrt[n]{\left(\prod_{j=1}^n a_{ij}\right)}, \quad (7.2)$$

де  $n$  – кількість елементів рядку матриці  $A$  (кількість критеріїв другого рівня ієрархії);

$i$  – рядок матриці;

$j$  – стовпець матриці;

$a_{ij}$  – елемент  $i$ -го рядка і  $j$ -го стовпця.

Розрахунок локальних пріоритетів для критеріїв другого рівня ( $L_i$ ) наведено в табл. 7.2.

Таблиця 7.2

### Розрахунок локальних пріоритетів

Критерії	$\prod_{j=1}^3 a_{ij}$	$\sqrt[3]{\prod_{j=1}^3 a_{ij}}$	$L_i$
Вартість	5,0	1,710	<b>0,4806</b>
Продуктивність	3,0	1,442	<b>0,4054</b>
Країна-виробник	0,0667	0,405	<b>0,1140</b>
	<i>sum</i>	3,558	

### Оцінювання узгодженості матриці

Отримана в результаті опитування експерта матриця може бути неузгодженою, тобто відображати певну непослідовність його тверджень. За критерії оцінювання узгодженості матриці приймаються індекс узгодженості ( $I_n$ ) та відношення узгодженості ( $I_o$ ).

Індекс узгодженості визначається за формулою:

$$I_i = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}, \quad (7.3)$$

де  $\lambda_{\max}$  – максимальне власне значення матриці  $A$ :

$$\lambda_{\max} = \sum_{j=1}^n \left( L_j \sum_{i=1}^n a_{ij} \right). \quad (7.4)$$

Значення індексів узгодженості, які отримані за умови випадкового відбору кількісних значень шкали відносної важливості (табл. 7.1) для матриць різних порядків, дістали назву *випадкових індексів узгодження* ( $I_e$ ) і наведені в табл. 7.3.

Таблиця 7.3

Значення випадкових індексів узгодження

Порядок матриці ( $n$ )	1	2	3	4	5	6	7	8
Випадковий індекс ( $I_e$ )	0,00	0,00	<b>0,58</b>	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41
Порядок матриці ( $n$ )	9	10	11	12	13	14	15	
Випадковий індекс ( $I_e$ )	1,45	1,49	1,51	1,54	1,56	1,57	1,59	

Для нашого прикладу  $n=3$  і випадковий індекс узгодженості за табл. 7.3 має значення  $I_e=0,58$ .

Відношення індекса узгодженості до випадкового індексу узгодженості для матриці того ж порядку дістало назву *відношення узгодження* ( $I_o$ ):

$$I_o = \frac{I_i}{I_e}. \quad (7.5)$$

Якщо отримане за формулою (7.5) значення  $I_o$  менше 0,10 – рівень узгодженості можна вважати задовільним, В деяких випадках можна обмежитися значенням до 0,20, але якщо значення  $I_o > 0,20$ , потрібно переглянути матрицю оцінок експерта.

Для матриці (7.1) розраховані такі значення максимального власного значення матриці  $\lambda_{\max}$ , індексу узгодженості  $I_n$  та відношення узгодження  $I_o$ :

$$\lambda_{\max}=3,03; I_n=0,02; I_o=0,03$$

### Матриця попарних порівнянь третього рівня ієрархії

Твердження експерта щодо вартості:

1. модель *B* значно переважає модель *C*;
2. модель *B* помірно поступається моделі *D*.
3. модель *D* суттєво переважає модель *C*.

Таблиця 7.4

Вартість

	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>
<i>B</i>	1	7	0,333
<i>C</i>	0,143	1	0,2
<i>D</i>	3	5	1

$$\lambda_{\max}=3,23; I_n=0,12; I_o=0,20$$

Твердження експерта щодо продуктивності:

1. модель *B* помірно переважає модель *C*;
2. модель *B* рівно важлива моделі *D*.
3. модель *D* значно переважає модель *C*.

Таблиця 7.5

Продуктивність

	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>
<i>B</i>	1	3	1
<i>C</i>	0,333	1	0,143
<i>D</i>	1	7	1

$$\lambda_{max}=3,08; I_H=0,04; I_o =0,07$$

Твердження експерта щодо країни-виробника:

1. модель *B* помірно переважає модель *C*;
2. модель *B* суттєво поступається моделі *D*.
3. модель *D* значно переважає модель *C*.

Таблиця 7.6

Країна-виробник

	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>
<i>B</i>	1	3	0,2
<i>C</i>	0,33	1	0,14
<i>D</i>	5	7	1

$$\lambda_{max}=3,06; I_H=0,03; I_o =0,06$$

Таблиця 7.7

Розрахунок вектору пріоритетів моделей *B*, *C*, *D*

Критерії	$\prod_{j=1}^3 a_{ij}$	$\sqrt[3]{\prod_{j=1}^3 a_{ij}}$	$\prod_{j=1}^3 a_{ij}$	$\sqrt[3]{\prod_{j=1}^3 a_{ij}}$	$\prod_{j=1}^3 a_{ij}$	$\sqrt[3]{\prod_{j=1}^3 a_{ij}}$	$L_B$	$L_C$	$L_D$
Вартість	2,333	1,3264	3	1,4422	0,6	0,843	0,32	0,39	0,19
Продуктивність	0,029	0,3057	0,048	0,3625	0,05	0,362	0,07	0,10	0,08
Країна-виробник	15	2,4662	7	1,9129	35	3,271	0,60	0,51	0,73
<i>sum</i>	4,098		<i>sum</i>	3,717	<i>sum</i>	4,477			

**Розрахунок глобальних пріоритетів**

Для розрахунку глобальних пріоритетів  $G_B$ ,  $G_C$ ,  $G_D$  моделей локомотивів *B*, *C*, і *D* відносно основної мети – вибору марки локомотиву, використовуються формули:

$$G_B = \sum_{i=1}^n (L_i L_B); G_C = \sum_{i=1}^n (L_i L_C) \quad G_D = \sum_{i=1}^n (L_i L_D). \quad (7.6)$$

## Розрахунок глобальних пріоритетів

Критерії	$L_i$	$L_B$	$L_C$	$L_D$	$L_i L_B$	$L_i L_C$	$L_i L_D$
Вартість	<b>0,481</b>	0,32	0,39	0,19	0,15555	0,186	0,091
Продуктивність	0,405	0,07	0,10	0,08	0,03024	0,04	0,033
Країна-виробник	0,114	0,60	0,51	0,73	0,06858	0,059	0,083
<b>Узагальнений пріоритет (sum)</b>					<b>0,254</b>	<b>0,285</b>	<b>0,207</b>

Вектор пріоритетів третього рівня ієрархії, що відтворює моделі локомотивів  $B$ ,  $C$  і  $D$  становить відповідно 0,254, 0,285 і 0,207.

Таким чином, локомотивному депо за оцінюванням експерта слід обрати модель локомотива моделі  $C$  (0,285), а найбільш важливим критерієм для прийняття такого рішення є вартість локомотива (0,481).

**Запитання та завдання для самоперевірки**

1. Що таке «ієрархія»?
2. У чому полягає ідея методу аналізу ієрархії?
3. У яких випадках використовується шкала відносної важливості?
4. Навести формулу для визначення кількості попарних порівнянь.
5. Що таке «локальний пріоритет»?
6. Навести формулу для обчислення локальних пріоритетів.
7. Як визначається узгодженість тверджень експерта?
8. Навести формулу для визначення глобальних пріоритетів.
9. За яким показником відбувається остаточний вибір альтернативи?
10. Навести послідовність етапів визначення пріоритетів альтернатив.

**Лекція 8. Методи непараметричної статистики**

Дотепер ми мали справу із класичними методами оцінки випадкових величин, статистики яких обчислювалися за конкретними формулами. Проте існують випадки, коли методи класичної (параметричної) статистики не спрацьовують. Це трапляється коли:

- випадкові величини не можна оцінити кількісно (рівень знань, якість послуг тощо);
- кількість спостережень недостатня для перевірки прийнятих гіпотез про характеристики випадкових величин.

Для таких випадків користуються **непараметричною** статистикою, методи якої дозволяють оцінити інформацію як саму випадкову величину, так і надану інформацію про неї.

Без перебільшення можна вважати, що методи непараметричної статистики – це достатньо потужний засіб для розв'язку задач системного аналізу.

**Вимірювальні шкали**

Одним з основних понять непараметричної статистики є шкали або процедури шкалювання значень випадкової величини. Непараметрична статистика використовує чотири шкали: **номінальну** (*Nom*), **порядкову** (*Ord*), **інтервальну** (*Int*) і **відносну** (*Rel*).

Належність до певної категорії визначається за такими ознаками: *упорядкованість, інтервальність і нульова точка*

– *упорядкованість* даних означає, що один пункт шкали більше, менше або дорівнює іншому пунктові;

– *інтервальність* пунктів шкали означає, що інтервал між будь-якою парою чисел більше, менше або дорівнює інтервалу між іншою парою чисел;

– *нульова точка* (або точка відліку) означає, що набір чисел має точку відліку, яка приймається за нуль, що відповідає повній відсутності вимірювальної властивості.

### **Шкала номінальна**

Шкала номінальна (найменувань) являє собою кінцевий набір позначень для не пов'язаних між собою станів (властивостей) об'єкта.

Тут відсутні всі головні ознаки вимірювальних шкал, а саме *упорядкованість, інтервальність, нульова точка*.

Вимірювання полягає в тому, щоби записати спостережуваний стан об'єкта за допомогою символу, що позначає цей стан. Ця шкала ніяк не пов'язана із вимірами і використовується у випадках, коли необхідно відрізнити один об'єкт від іншого.

Номінальні шкали використовуються для дискретних об'єктів. Для позначень у номінальній шкалі використовуються слова природньої мови (географічні назви, власні імена тощо), символи (емблеми, прапори, герби тощо), номери (реєстраційні, шифри тощо) та їх різноманітні комбінації (адреси, екслібриси тощо).

З даними, які зафіксовані у номінальній шкалі, можна виконувати *тільки* перевірку збігу цих даних або їхніх розбіжностей.

### **Шкала порядкова**

Порядкова (рангова) шкала застосовується у випадках, коли ознака об'єкта, яка досліджується, дозволяє порівнювати різні класи.

Порядкова шкала не має атрибутів інтервалів і нульової точки, але при цьому присутня *упорядкованість*. Шкала допускає такі відносини між об'єктами однієї категорії:

– рівність однакових значень змінних об'єктів однієї категорії;

– нерівність різних значень змінних об'єктів однієї категорії ;

– відносини «більше» або «менше» між різними значеннями об'єктів однієї категорії

Порядкова шкала застосовується при:

– упорядкуванні об'єктів у просторі і часі;

– упорядкуванні об'єктів відносно якості без потреби реалізації його виміру;

– упорядкуванні об'єктів відносно будь-якої якості без необхідності їх вимірювання.

Розрізняють *типові й модифіковані* порядкові шкали

Якщо позначити класи деякими символами і встановити між ними відносини порядку, наприклад:  $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow E \rightarrow F$ , то отримана шкала

належить до класу типових простих. Прикладом використання такої шкали може бути класифікація знань, місця в конкурсі, соціально-економічний статус тощо.

Порядкові дані можуть бути зображені цифрами, проте вони не можуть інформувати дослідника про відстань між порівнюваними класами тобто не можуть розглядатися як числа. На основі цих цифр, наприклад, не можна обчислити середнє порядкових вимірів.

Порядкові шкали застосовуються тільки для заданого набору порівнюваних об'єктів, вони не мають абсолютного стандарту.

Бажання декотрих дослідників зменшити відносність порядкових шкал призвела до деяких їхніх модифікацій. Наприклад, німецький мінералог Ф. Моос встановив шкалу твердості, яка має десять градацій. За еталони були прийняті мінерали за зростаючою твердістю: 1 – тальк, 2 – гіпс, 3 – кальцій, 4 – флюорит, 5 – апатит, 6 – ортоклаз, 7 – кварц, 8 – топаз, 9 – корунд, 10 – алмаз. Із двох мінералів твердіше той, який при зіткненні залишає на іншому подряпини. Проте номери градацій алмаза і апатиту не означають, що алмаз у два рази твердіше апатиту.

До модифікованих можна віднести шкалу сили вітру, дванадцятибальну шкалу для оцінки сили землетрусу тощо.

### **Шкала інтервалів**

Шкала інтервалів на відміну від якісних шкал є кількісною шкалою і застосовується, коли впорядкованість значень вимірів можна виконати настільки точно, що відомі інтервали між будь-якими двома з них.

Шкала інтервалів має впорядкованість і інтервальність, але не має нульової точки. Початок відліку шкали може бути довільним, а зв'язок між показаннями є лінійним:

$$ax+b,$$

де  $a>0$ ;  $-\infty<b<\infty$ .

Для цієї шкали справедлива властивість:

$$\frac{x_1 - x_2}{x_3 - x_4} = \frac{y_1 - y_2}{y_3 - y_4} = \text{const.}$$

Наприклад, можна навести такі фізичні величини як температура, час, висота місцевості, тобто такі величини, які або не мають абсолютного нуля, або припускають довільне встановлення початку відліку.

У цій шкалі лише інтервали мають сенс справжніх чисел і лише над інтервалами можна виконувати арифметичні операції. Якщо виконати арифметичні операції над самими відліками шкали, незважаючи на їхню відносність, можна отримати хибний результат. Так, наприклад, можна сказати, що температура повітря підвищилася у два рази, коли піднялася від  $9^{\circ}\text{C}$  до  $18^{\circ}\text{C}$ , але за шкалою Фаренгейта це відповідає зміні температури від  $37^{\circ}\text{C}$  до  $42^{\circ}\text{C}$  і висновок про подвійне підвищення стає абсурдним.

### Шкала відносин

Виміри у шкалі відносин є числами, з якими можна виконувати будь-які арифметичні дії. Шкала відносин має всі атрибути вимірjuвальних шкал: упорядкованість, інтервальність, нульова точка.

Відмінність від інтервальної шкали полягає в трактуванні поняття *нуля*. Наприклад, наявність нульової точки на інтервальній шкалі, яка означає вагу, свідчить про відсутність ваги, а нуль температури на шкалі відносин не означає відсутності теплоти, оскільки існують температури нижче 0°C.

Шкалі відносин можуть відповідати такі величини як вага, довжина, гроші, електричний опір тощо. Значення шкали відносин визначають, у скільки разів властивості одного об'єкта перевершують такі ж самі властивості іншого об'єкта.

### Метод експертних оцінок

Метод експертних оцінок базується на припущенні, що на основі думок експертів можна побудувати адекватну модель поточного стану об'єкта або його майбутнього розвитку.

Суть цього методу полягає у наступному: потрібно чітко сформулювати всі фактори (цілі) функціонування системи і запропонувати групі експертів розташувати їх по рангах.

Спеціальний розділ непараметричної статистики — теорія *рангової кореляції*, дозволяє перевірити гіпотези про *значимість* отриманої від експертів інформації. *Погодженість* думок експертів визначається за допомогою методу *рангової конкордації*.

Методи рангової кореляції і конкордації застосовуються у випадках, коли виникла потреба у використанні досвіду експертів або існує сумнів у їхній компетентності.

Метод рангової кореляції пояснено на результатах оцінки двох експертів (*A* і *B*), для десяти факторів, які надані у вигляді таблиці рангів (табл. 8.1).

Таблиця 8.1

Таблиця рангів

Фактори Експерти	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Сума
<i>A</i>	2	4	6	7	9	1	3	5	10	8	55
<i>B</i>	4	2	7	5	8	3	1	6	10	9	55
Сума рангів	6	6	13	12	17	4	4	11	20	17	110
Різниця рангів ( $d_i$ )	-2	2	-1	2	1	-2	2	-1	0	-1	0
Квадрат різниці рангів ( $d_i^2$ )	4	4	1	4	1	4	4	1	0	1	24

Для кожного фактора визначається сума рангів, визначених експертами *A* і *B*, на основі яких розраховується сумарний (результуючий) ранг.



### Алгоритм розрахунку сумарного рангу

Для розрахунку сумарного рангу потрібно відсортувати отримані суми рангів і привласнити кожній з них вагу від 1 до 10 від найменшого значення суми до найбільшого (табл. 8.2).

Таблиця 8.2

Розрахунок сумарного рангу

Вага суми рангів	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Сума
Сума рангів	4	4	6	6	11	12	13	17	17	20	110
Сумарний ранг	1,5	1,5	3,5	3,5	5	6	7	8,5	8,5	10	55

Якщо сума рангів збігаються (4, 4; 6, 6; 17, 17), для них призначаються середні значення ваги:

$$\text{для суми рангів}=4: \quad (1+2)/2=1,5;$$

$$\text{для суми рангів}=6: \quad (3+4)/2=3,5;$$

$$\text{для суми рангів}=17: \quad (8+9)/2=8,5.$$

Відкореговані значення сумарного рангу наведені в таблиці 8.2.

### Визначення рангової кореляції

Метод рангової кореляції визначає наскільки можна довіряти результуючим рангам, тобто чи є зв'язок між ранжуванням кожного з двох експертів. Як основна висувається гіпотеза про відсутність зв'язку між ранжуванням і визначається ймовірність справедливості цієї гіпотези.

Для визначення ступеню зв'язку рангів двох експертів використовується коефіцієнт рангової кореляції Спірмена  $R_S$ :

$$R_S = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n (d_i)^2}{n(n^2 - 1)} = 1 - \frac{6(4 + 4 + 1 + 4 + 1 + 4 + 4 + 1 + 0 + 1)}{10(100 - 1)} = 0,855, \quad (8.1)$$

де  $d_i$  – різниця рангів першого і другого експертів для  $i$ -го фактору.

У нашому прикладі сума квадратів різниць рангів  $d_i^2=24$  (табл. 8.1), а коефіцієнт кореляції Спірмена  $R_S=0,855$ .

### Оцінка коефіцієнта рангової кореляції Спірмена

Для визначення значимості коефіцієнта рангової кореляції Спірмена розраховується критерій Стьюдента  $t_p$  за формулою:

$$t_p = R_S \frac{\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-R_S^2}} = 0,8545 \frac{\sqrt{8}}{\sqrt{1-0,8545^2}} = 4,654. \quad (8.2)$$

За таблицею Стьюдента (Додаток I) для  $k=n-m$  і  $\alpha=0,05$  знаходимо  $t_{\text{табл}}(8; 0,05)=2,306$ :

Оскільки  $t_p > t_{\text{табл}}$ , гіпотеза про значимість отриманої від експертів інформації приймається.

### Визначення рангової конкордації

Якщо число експертів більше двох, то узгодженість їхніх думок щодо оцінюваних факторів визначається з використанням коефіцієнта конкордації, який пов'язаний з ім'ям британського статистика Моріса Джорджа Кендалла і відомий як коефіцієнт Кендалла.

Розглянемо приклад, в якому чотири експерти ( $A, B, C, D$ ) проранжували шість факторів, табл.8.3.

Таблиця 8.3

Початкові дані і проміжні результати розрахунків

Фактори	1	2	3	4	5	6	Сумма
Експерти							
$A$	2	5	1	4	3	6	21
$B$	3	4	2	6	1	5	21
$C$	4	3	1	5	2	6	21
$D$	3	4	2	5	1	6	21
Сума рангів	12	16	6	20	7	23	84
Сумарний ранг	3	4	1	5	2	6	21
Відхилення суми від середнього	-2	2	-8	6	-7	9	0
Квадрат відхилення	4	4	64	36	49	81	238

Коефіцієнт конкордації визначається за формулою:

$$K = \frac{S}{S_{\max}}, \quad (8.4)$$

де  $S$  – сума квадратів відхилення суми рангів кожного фактора від середнього значення суми;

$S_{\max}$  – максимальне значення  $S$ , яке визначається за формулою;

$$S_{\max} = \frac{m^2(n^3 - n)}{12} = \frac{4^2(6^3 - 6)}{12} = 280, \quad (8.5)$$

де  $m$  – кількість експертів;

$n$  – кількість факторів.

Сума квадратів відхилення сум рангів від середнього розраховується за формулою:

$$S = \sum_{i=1}^n \left( \sum_{j=1}^m x_{ij} - \Delta \right)^2, \quad (8.6)$$

де  $x_{ij}$  – оцінка фактора  $i$  експертом  $j$ ;  $i = \overline{1, n}$ ;  $j = \overline{1, m}$ ;  $n = 6$ ;  $m = 4$ ;

$\Delta$  – середнє значення рангу, яке визначається за формулою:

$$\Delta = \frac{1}{2} m(n+1) = \frac{1}{2} 4(6+1) = 14. \quad (8.7)$$

Визначити значення середнього рангу можна поділом суми рангів 84 на кількість факторів 6, що дає в середньому по 14 на кожний фактор, табл. 8.3..

Коефіцієнт конкордації приймає значення:

$$K = \frac{238}{280} = 0,85.$$

**Узгодженість коефіцієнта конкордації**

Узгодженість коефіцієнта конкордації визначається за критерієм Пірсона  $\chi^2_{\delta}$ :

$$\chi^2_{\delta} = \frac{12S}{mn(n+1)} = \frac{12 \times 238}{4 \times 6(6+1)} = 17,0 \quad (8.8)$$

Розрахункове значення  $\chi^2_{\alpha}$  порівнюється з табличним відповідно прийнятому рівню значимості  $\alpha=0,05$  і числу ступенів свободи  $k=n-1=6-1=5$  (Додаток II):

$$\chi^2(0,05;5) = 11,07.$$

Розрахункове значення критерію Пірсона більше табличного  $\chi^2_p > \chi^2_{\alpha}$ , що означає узгодженість коефіцієнта конкордації  $K$  на обраному рівні значимості.

Існує приблизна оцінка ступеню узгодженості. Якщо значення коефіцієнта конкордації знаходяться у межах:

$K \leq 0,75$  – ступінь узгодженості слабка;

$0,75 \leq K \leq 0,85$  – ступінь узгодженості середня;

$0,85 \leq K \leq 0,95$  – ступінь узгодженості вище середньої;

$K > 0,95$  – ступінь узгодженості сильна.

### Визначення ваги факторів

Крім оцінювання ступеню довіри щодо інформації, отриманої від експертів та погодженості їхніх думок відносно факторів, важливою проблемою є отримання інформації про вагу кожного з факторів і вибір кращого з них.

Розрахунок ваги факторів у випадку оцінки чотирьох експертів щодо шести факторів наведено в таблиці 8.4.

Таблиця 8.4

Таблиця експертних оцінок

Фактори Експерти	1	2	3	4	5	6	Сумма
<i>A</i>	2	5	1	4	3	6	21
<i>B</i>	3	4	2	6	1	5	21
<i>C</i>	4	3	1	5	2	6	21
<i>D</i>	3	4	2	5	1	6	21
Сума рангів	12	16	6	20	7	23	84

Формується матриця нормованих оцінок факторів  $x_{ij}^i$  (табл. 8.5), які визначаються за формулою:

$$x_{ij}^i = \frac{x_{ij}}{\sum_{j=1}^n x_{ij}}, \quad (8.9)$$

де  $x_{ij}$  – оцінка  $i$ -го фактора  $j$ -м експертом:  $i = \overline{1, n}$ ;  $j = \overline{1, m}$ ;  $n = 6$ ;  $m = 4$ ;

Вага кожного фактора, що розрахована за оцінками всіх експертів, дорівнює:

$$\varpi_i = \frac{\sum_{j=1}^m x_{ij}^i}{m} \quad (8.10)$$

Таблиця нормованих оцінок

Фактори	1	2	3	4	5	6
Експерти						
<i>A</i>	0,095	0,238	0,048	0,190	0,143	0,286
<i>B</i>	0,143	0,190	0,095	0,286	0,048	0,238
<i>C</i>	0,190	0,143	0,048	0,238	0,095	0,286
<i>D</i>	0,143	0,190	0,095	0,238	0,048	0,286
Вага $\omega_i$	0,143	0,190	0,071	0,238	0,083	0,274
$\omega_{max}$	<b>0,274</b>					

Найбільшу вагу має шостий фактор  $\omega_{max}=0,274$  і це означає, що він має кращу альтернативу.

Результати розрахунків, які наведені в табл. 8.5 дозволяють оцінити вагу кожного фактору у випадках, коли суми рангів, визначених кожним із експертів не співпадають. У нашому випадку (табл. 8.4) сума рангів всіх експертів дорівнює 21 і сумарний ранг кожного фактора однозначно визначає вагу кожного з них.

### Запитання та завдання для самоперевірки

1. У яких випадках доцільно використовувати методи непараметричної статистики?
2. Які вимірювальні шкали використовує непараметрична статистика?
3. Визначити основні ознаки номінальної шкали.
4. Визначити основні ознаки порядкової шкали.
5. Визначити основні ознаки інтервальної шкали.
6. Визначити основні ознаки відносної шкали.
7. У чому полягає сутність методу експертних оцінок?
8. Яким чином можна перевірити значимість інформації, отриманої від експертів?
9. Який метод застосовується для визначення погодженості думок експертів?
10. За яким алгоритмом визначається сумарний (результуючий) ранг?
11. Навести формулу для визначення коефіцієнта рангової кореляції Спірмена  $R_s$ .
12. Як оцінити суттєвість коефіцієнта Спірмена?
13. Навести формулу для визначення коефіцієнта конкордації Кендалла.
14. За яким критерієм визначається узгодженість коефіцієнта Кендалла?
15. У яких випадках і як визначається вага факторів (цілей), визначених експертами?

## ДОДАТОК І. ТАБЛИЦЯ ЗНАЧЕНЬ $t$ -КРИТЕРІЮ СТЬЮДЕНТА

Критичні значення  $t$ -критерію Стьюдента для різної довірчої ймовірності  $p$  і числа ступенів свободи  $k$ .

$p$ $k$	<b>0,90</b>	<b>0,95</b>	<b>0,99</b>	$p$ $k$	<b>0,90</b>	<b>0,95</b>	<b>0,99</b>
<b>4</b>	2,132	2,776	4,604	<b>18</b>	1,734	2,103	2,878
<b>5</b>	2,015	2,571	4,032	<b>20</b>	1,725	2,086	2,845
<b>6</b>	1,943	2,447	3,707	<b>25</b>	1,708	2,060	2,787
<b>7</b>	1,895	2,365	3,499	<b>30</b>	1,697	2,042	2,750
<b>8</b>	1,860	2,306	3,355	<b>35</b>	1,689	2,030	2,724
<b>9</b>	1,833	2,262	3,250	<b>40</b>	1,684	2,021	2,704
<b>10</b>	1,812	2,228	3,169	<b>45</b>	1,679	2,014	2,689
<b>11</b>	1,796	2,201	3,106	<b>50</b>	1,676	2,008	2,677
<b>12</b>	1,782	2,179	3,055	<b>60</b>	1,671	2,000	2,660
<b>13</b>	1,771	2,160	3,012	<b>70</b>	1,667	1,995	2,648
<b>14</b>	1,761	2,145	2,977	<b>80</b>	1,664	1,990	2,639
<b>15</b>	1,753	2,131	2,947	<b>90</b>	1,662	1,987	2,632
<b>16</b>	1,746	2,120	2,921	<b>100</b>	1,660	1,984	2,626
				$\infty$	1,645	1,960	2,576

## ДОДАТОК II. ТАБЛИЦЯ РОЗПОДІЛУ ПІРСОНА

<i>k/α</i>	0,01	0,025	0,05	0,95	0,975	0,99
1	6,63490	5,02389	3,84146	0,00393	0,00098	0,00016
2	9,21034	7,37776	5,99146	0,10259	0,05064	0,02010
3	11,34487	9,34840	7,81473	0,35185	0,21580	0,11483
4	13,2767	11,14329	9,48773	0,71072	0,48442	0,29711
5	15,08627	12,8325	11,0705	1,14548	0,83121	0,55430
6	16,81189	14,44938	12,59159	1,63538	1,23734	0,87209
7	18,47531	16,01276	14,06714	2,16735	1,68987	1,23904
8	20,09024	17,53455	15,50731	2,73264	2,17973	1,64650
9	21,66599	19,02277	16,91898	3,32511	2,70039	2,08790
10	23,20925	20,48318	18,30704	3,94030	3,24697	2,55821
11	24,72497	21,92005	19,67514	4,57481	3,81575	3,05348
12	26,21697	23,33666	21,02607	5,22603	4,40379	3,57057
13	27,68825	24,7356	22,36203	5,89186	5,00875	4,10692
14	29,14124	26,11895	23,68479	6,57063	5,62873	4,66043
15	30,57791	27,48839	24,99579	7,26094	6,26214	5,22935
16	31,99993	28,84535	26,29623	7,96165	6,90766	5,81221
17	33,40866	30,19101	27,58711	8,67176	7,56419	6,40776
18	34,80531	31,52638	28,86930	9,39046	8,23075	7,01491
19	36,19087	32,85233	30,14353	10,11701	8,90652	7,63273
20	37,56623	34,16961	31,41043	10,85081	9,59078	8,26040
21	38,93217	35,47888	32,67057	11,59131	10,2829	8,89720
22	40,28936	36,78071	33,92444	12,33801	10,98232	9,54249
23	41,63840	38,07563	35,17246	13,09051	11,68855	10,19572
24	42,97982	39,36408	36,41503	13,84843	12,40115	10,85636
25	44,31410	40,64647	37,65248	14,61141	13,11972	11,52398
26	45,64168	41,92317	38,88514	15,37916	13,84391	12,19815
27	46,96294	43,19451	40,11327	16,15140	14,57338	12,87850
28	48,27824	44,46079	41,33714	16,92788	15,30786	13,56471
29	49,58788	45,72229	42,55697	17,70837	16,04707	14,25645
30	50,89218	46,97924	43,77297	18,49266	16,79077	14,95346
31	52,19139	48,23189	44,98534	19,28057	17,53874	15,65546
32	53,48577	49,48044	46,19426	20,07191	18,29076	16,36222
33	54,77554	50,72508	47,39988	20,86653	19,04666	17,07351
34	56,06091	51,96600	48,60237	21,66428	19,80625	17,78915
35	57,34207	53,20335	49,80185	22,46502	20,56938	18,50893
36	58,61921	54,43729	50,99846	23,26861	21,33588	19,23268
37	59,89250	55,66797	52,19232	24,07494	22,10563	19,96023
38	61,16209	56,89552	53,38354	24,8839	22,87848	20,69144
39	62,42812	58,12006	54,57223	25,69539	23,65432	21,42616
40	63,69074	59,34171	55,75848	26,5093	24,43304	22,16426
41	64,95007	60,56057	56,94239	27,32555	25,21452	22,90561
42	66,20624	61,77676	58,12404	28,14405	25,99866	23,65009
43	67,45935	62,99036	59,30351	28,96472	26,78537	24,39760
44	68,70951	64,20146	60,48089	29,78748	27,57457	25,14803
45	69,95683	65,41016	61,65623	30,61226	28,36615	25,90127
46	71,20140	66,61653	62,82962	31,43900	29,16005	26,65724
47	72,44331	67,82065	64,00111	32,26762	29,95620	27,41585
48	73,68264	69,02259	65,17077	33,09808	30,75451	28,17701
49	74,91947	70,22241	66,33865	33,93031	31,55492	28,94065
50	76,15389	71,42020	67,50481	34,76425	32,35736	29,70668

## СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Артынов А. П., Кондратьев Г. А. Управление взаимодействием транспортных систем. – М.: Наука, 1986. – 200 с.
2. Лившиц В. Н. Системный анализ экономических процессов на транспорте. – М.: Транспорт, 1986. . – 240 с.
3. Лившиц В. Н. Оптимизация планирования и управления транспортными системами. – М.: Транспорт, 1987. – 208 с.
4. Орловский П. Н. Системный анализ. Основные понятия, принципы, методология. – Киев, 1996. – 368с.
5. Орловский П. Н. Системный анализ проблем транспортных узлов – Киев, «Основа», 2007. – 234с.
6. Гаврилов Е. В. Основи теорії систем і управління. – Київ, 2002. – 325с.
7. Гаврилов Е. В. Технологія наукових досліджень і технічної творчості. – Київ, 2002. – 325с.
8. Гаврилов Е. В. Дослідження операцій у транспортних системах. – Київ, 2003. – 325с.
9. Белов И. В., Каплан А. Б. Математические методы в планировании на железнодорожном транспорте, – М.: Транспорт, 1972. – 248 с.
10. Катренко А. В. Системний аналіз: підручник – Львів: «Новий Світ-2000», 2009, – 396с.
11. Боровиков В. П., Ивченко Г. И. Прогнозирование в системе STATISTICA в брете WINDOWS, – М.: Финансы и статистика, 1999. – 384 с.
12. Валуев С. А. и др. Системный анализ в экономике и организации производства. – Л.: «Политехника», 1991. – 398с.,
13. Акулиничев В. М, Кудрявцев В. А, Корешков А. Н. Математические методы в эксплуатации железных дорог. – М.: Транспорт, 1981. – 262 с.
14. Системы автоматизации и информационные технологии управления перевозками на железных дорогах. Учебник для вузов ж-д транспорта/ Под ред. Ковалёва В И. – М.: Маршрут, 2006, – 544с.
15. Митропольский А. К. Техника статистических вычислений. – М.: Наука, 1971. –534 с.
16. Юн Г. М., Марінцева К. В. Основи теорії систем і системний аналіз. Конспект лекцій. – К.: НАУ. – 2004. – 168с.
17. Могилевський В. Д. Методологія систем. – М.: «Экономика», 1999. – 251с.
18. Перегудов Ф. И, Тарасенко Ф. П. Введение в системный анализ. – М: Высшая школа, 1992. – 367 с.
19. Качала В .В. Основы теории систем и системного анализа. Учебное пособие для вузов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 216 с.
20. Анфилатов В. С., Емельянов А. А., Кукушкин А. А. Системный анализ в управлении. – М.: Финансы и статистика, 2003. – 368 с.
21. Сурмин Ю. П. Теория систем и системный анализ: Учеб. пособие.– Киев: МЛУП, 2003. – 368 с
22. Дивак М. П. Методичний посібник з дисципліни «Системний аналіз» – Тернопіль: ТІНГ, 2004. – 136 с.

23. *Громов Ю. Ю.* и др. Системный анализ в информационных технологиях. – Тамбов, ТГТУ, 2007. – 86 с.
24. *Романов В. Н.* Системный анализ для инженеров. – СПб, СЗГЗТУ, 2006. – 180 с.
25. *Т. Саати.* Принятие решений. Метод анализа иерархий./ Пер. с англ. Р. Г. Вачнадзе – М., Радио и связь, 1993. – 278 с.
26. *Цветов Ю. М.* Транспорт: Системный подход. – М.: Знание. 1980.
27. *Системний аналіз транспортних процесів: Методичні вказівки щодо виконання лабораторних робіт.* / Філіпович Л. В., Мацюк В. І., Бердниченко Ю. А – К.: ДЕТУТ, 2014. – 68 с.



*Навчально-методичне видання*

**Людмила Всеволодівна Філіпович**

## **СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ТРАНСПОРТНИХ ПРОЦЕСІВ**

**Конспект лекцій**

Відповідальний за випуск – Л. В. Філіпович  
Директор РВЦ ДЕГУТ – Л. В. Пономаренко  
Головний редактор – О. В Ємець  
Верстка – В. О. Полічева

---

Підписано до друку \_\_\_\_\_ р. Формат 60x84/16, папір офсетний, друк – на різнографі. Зам. № \_\_\_\_\_. Тираж 40 прим. Надруковано в Редакційно-видавничому центрі Державного економіко-технологічного університету транспорту. Свідоцтво про реєстрацію від 27.12.2007 р. Серія ДК № 3079. 03049, м. Київ, вул. Миколи Лукашевича, 19.