

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Український державний університет
науки і технологій

Кафедра «Систем якості,
стандартизації та метрології»

В авторській редакції

ОСНОВИ СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ

Навчально-методичні рекомендації
до проведення практичних занять

Електронне видання

ДНІПРО
2025

Упорядники:

А. М. Должанський, Є. В. Чернецький, О. Б. Брагинський

Електронне видання

Схвалено Групою забезпечення якості освітньої програми
175 «Інформаційно-вимірювальні технології»
Протокол № 4 від 30.01.2025

- О 64 Основи системного аналізу : навчально-методичні рекомендації до проведення практичних занять / упоряд. А. М. Должанський, Є. В. Чернецький, О. Б. Брагинський ; Укр. держ. ун-т науки і технологій. – Електрон. вид. – Дніпро : УДУНТ, 2025. – 80 с.

Навчально-методичні рекомендації призначені для використання студентами безвідривної форми навчання спеціальності 175 «Інформаційно-вимірювальні технології» під час виконання практичних занять з дисципліни «Основи системного аналізу».

Навчально-методичні рекомендації містять інформацію, необхідну для засвоєння матеріалу, інструкції до виконання практичних робіт, вимоги до аналізу результатів та оформлення робіт.

Іл. 20. Табл. 23. Бібліогр.: 11 назв.

ЗМІСТ

ВСТУП	4
1 ЗАГАЛЬНІ НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ	6
2 ОСНОВНА ЧАСТИНА	7
2.1 Навчально-методичні рекомендації до практичних занять.....	7
Практична робота № 1 «Аналіз складових системи управління об'єктом (з наявністю оберненого зв'язку)».....	7
Практична робота № 2 «Аналіз видів зв'язків у системі»	9
Практична робота № 3 «Зіставлення статичних і динамічних закономірностей існування систем»	11
Практична робота № 4 «Аналіз S-подібної закономірності розвитку технічних систем»	15
Практична робота № 5 «Особливості системного підходу»	18
Практична робота № 6 «Ідентифікація властивостей системи (елементи системного аналізу)»	22
Практична робота № 7 (розрахунково-графічна робота) «Основи моделювання систем»	28
Практична робота № 8 «Визначення характеристик зв'язків факторів при аналізі систем»	48
Практична робота № 9 «Ухвалення рішень при оптимізації систем»	56
2.2 Індивідуальне завдання «Застосування регресійного аналізу для визначення залежності між функцією відгуку та випадковим фактором»	74
3 ЗАСОБИ САМОКОНТРОЛЮ	77
ПЕРЕЛІК РЕКОМЕНДОВАНИХ ПОСИЛАНЬ	78

ВСТУП

Навчальна дисципліна «Основи системного аналізу» входить до циклу обов'язкових дисциплін професійної підготовки студентів, що навчаються за Освітньо-професійною програмою «Інформаційно-вимірювальні технології та інженерія якості» спеціальності 175 – Інформаційно-вимірювальні технології першого (бакалаврського) рівня вищої освіти.

Метою наявного видання у контексті вивчення дисципліни «Основи системного аналізу» є розвиток системного мислення, надання студентам знань з теоретичних основ методології системного підходу та системного аналізу, при дослідженні систем та оптимізації процесів у різних сферах діяльності із застосуванням методів формалізації інформації; формування умінь та компетенцій для практичного застосування інструментів системного аналізу та методів оптимізації процесів при прийнятті рішень для управління складними об'єктами та системами.

Видання сприяє набуттю таких **фахових компетентностей, передбачених освітньою програмою:**

- ЗК-1. Здатність застосовувати професійні знання й уміння у практичних ситуаціях.
- ЗК-5. Здатність до пошуку, опрацювання та аналізу інформації з різних джерел.
- ЗК-8. Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями.
- ЗК-10. Здатність приймати обґрунтовані рішення, оцінювати та забезпечувати якість виконуваних робіт, працювати як індивідуально, так і в команді.
- ФК-2. Здатність проєктувати засоби (склад) інформаційно-вимірювальної системи (техніки) у певній сфері діяльності та описувати принцип їх роботи.

Очікувані результати виконання завдань за наявним виданням (згідно зі змістом навчальної дисципліни) представлені у таблицях 1 та 2.

В узгодженості із завданнями наявного видання та в результаті вивчення дисципліни студент повинен:

–**знати:** базові визначення та поняття щодо властивостей і класифікації систем, закономірності їх існування та розвитку, принципи, підходи та основні інструменти системного аналізу, інструменти системного аналізу при моделюванні, проєктуванні та удосконаленні технологічних виробничих систем та систем забезпечення якості продукції;

–**вміти:** відмежувати системи від середовища, здійснювати вибір підходу з представлення системи, визначати ціль системи, визначати критерії оцінки і обмеження, здійснювати вибір варіантів та аналіз результатів оцінювання; використовувати прикладні математичні інструменти аналізу для вирішення завдань системного дослідження і реалізації управління в складних системах;

приймати тактичні і стратегічні рішення за результатами системного аналізу складних об'єктів і систем.

Таблиця 1 – Очікувані фахові результати навчання та виконання практичних робіт та Індивідуального завдання

Код	Очікуваний фаховий результати навчання	Рівень
ОРН1	Пояснити та класифікувати основні поняття, принципи та підходи теорії систем та системного аналізу стосовно процесів контролю, оцінювання та забезпечення якості продукції, процесів і систем на різних етапах їх життєвого циклу.	II
ОРН2	Ідентифікувати систему, надсистему та підсистеми. Застосовувати з використанням відомих підходів сучасні теоретичні знання і практичні навички, необхідні для здійснення операцій системного аналізу складних техніко-організаційних систем і процесів в рамках реалізації інформаційно-вимірювальних технологій з вибором кращої альтернативи при забезпеченні загальної якості у будь-якій предметній області економічної діяльності.	III
ОРН3	Пропонувати шляхи оцінювання ефективності систем, зокрема - інформаційно-вимірювальної системи та обирати адекватні методичні засади при покращенні якості продукції та процесів на різних стадіях їх життєвого циклу.	V
ОРН4	Із застосуванням статистичних критеріїв виявляти сутність проблем при аналізі та оцінюванні ефективності інформаційно-вимірювальної системи та системи якості в організації.	IV
ОРН5	Прогнозувати зміни в інформаційно-вимірювальній системі на основі відомих закономірностей її розвитку.	VI

Передумовами для вивчення дисципліни та виконання практичних робіт і Індивідуального завдання є попереднє опанування дисциплінами Циклу загальної підготовки бакалавра («Історія та культура України», «Філософія та політологія», та ін.), загально-наукових та загально-технічних дисциплін Циклу професійної підготовки («Вища математика», «Алгоритмізація та програмування»), фахових дисциплін цього циклу («Технічний контроль якості», «Якість сучасних

матеріалів», «Товарознавство, якість та експертиза продукції і послуг», «Стандартизація продукції та послуг» та ін.).

Таблиця 2 – Соціальні навички фахівця (за Б. Блумом), розвитку яких сприяє навчальна дисципліна та виконання практичних робіт та Індивідуального завдання (ОН – «особистісні навички»; КН – «комунікаційні навички»)

Код	Соціальна навичка (<i>soft skill</i>)
ОН1	Здатність управляти власним часом.
ОН2	Здатність самостійно приймати рішення.
ОН3	Здатність формулювати цілі.
ОН4	Прихильність до позитивного мислення з розумінням важливості предмету вивчення як основоположного підходу до ідентифікації та оцінювання ефективності інформаційно-вимірjuвальної системи в рамках надсистеми.
КН1	Здатність зрозуміло формулювати думки.
КН3	Здатність дискутувати та надавати аргументовані відповіді з використанням спеціальних загальноприйнятих термінів.
КН4	Здатність вислуховувати та враховувати усі (у тому числі – альтернативні) точки зору.
УН1	Здатність працювати в команді, зокрема, при експертному оцінюванні параметрів системи.

Наявні навчально-методичні рекомендації розроблені групою співавторів з долею Должанського А.М. – 70%, Чернецького Є.В. – 15%, Брагинського О.Б. – 15%.

1 ЗАГАЛЬНІ НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

Структуру вивчення дисципліни «Основи системного аналізу» наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Структура вивчення дисципліни

Курс/ семестр	Загалом годин	Лекцій, годин	Лабор. годин/ кількість	Практ., годин/ кількість	Самост., годин	Вид контролю
2/4	150	8	-	4/9	138	Індивідуальне завдання. Диф. залік.

Робоча програма навчальної дисципліни передбачає самостійну роботу, контрольовану викладачем, що включає:

- вивчення лекційного матеріалу та підготовку до практичних занять;
- самостійне вивчення розділів дисципліни, що не викладаються на лекціях;
- виконання практичних робіт та індивідуального завдання;
- підготовку до контрольного заходу (диференційований залік).

2 ОСНОВНА ЧАСТИНА

2.1 Навчально-методичні рекомендації до практичних занять

Практична робота № 1

«Аналіз складових системи управління об'єктом (з наявністю оберненого зв'язку)»

Мета: набуття студентами умінь та навиків ідентифікації складових системи управління об'єктом в певній області діяльності.

Суть розробки: визначення студентом взаємодій складових і потоків інформації в системі управління об'єктом при наявності оберненого зв'язку.

Приклади визначення предметної сфери розробки: металургія; виготовлення харчові продукти; надання послуг у побутовій сфері; розробка програмних продуктів тощо.

Загальні положення

Система – це цілісний комплекс взаємозв'язаних або взаємодіючих елементів (об'єктів, частин, елементів тощо).

Основними поняттями кібернетики як основи Теорії систем є *управління* і *інформація* (рисунок 2.1) [1].

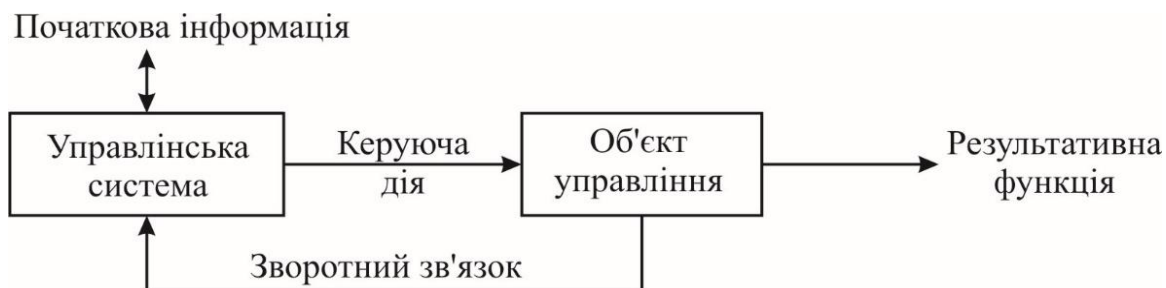


Рисунок 2.1 – Схема взаємодій складових і потоків інформації в системі [1]

Кібернетичні дослідження в рамках Теорії систем полягають у вивченні *загальних* властивостей процесів системного управління живих і неживих систем з урахуванням перетворень потоків інформації.

Стосовно прикладних аспектів, що пов'язані з діяльністю людей, призначення системи – це *раціональне управління* для задоволення вимог стейкхолдерів.

Тоді, прийнявши за основу визначення, які наводяться у стандартах ISO з управління якістю, отримуємо:

Управління – цілеспрямовані впливи на об'єкт для досягнення певної мети.

Система управління (*management system*) – система, яка дає можливість визначати політику та цілі і досягати ці цілі.

Система управління організацією може охоплювати різні складові системи («підсистеми») управління, наприклад, підсистему управління якістю, підсистему управління фінансами, підсистему управління навколишнім середовищем тощо.

Зокрема, система управління якістю (*quality management system*) – система управління, яка направляє і контролює діяльність організації стосовно якості.

Аналогічним чином, *система управління ресурсами* (точніше – підсистема) переймається питаннями спрямування і контролю діяльності стосовно раціонального отримання та використання ресурсів тощо.

Середовище – це сукупність всіх об'єктів, які впливають на систему, а також об'єктів, що змінюються під впливом системи, але не входять до її складу.

Зміна оточуючого середовища призводить до зміни призначення системи. Розуміння призначення не є сталим під час вивчення системи. Воно може змінюватися в процесі конкретизації.

Обов'язковою властивістю системи є **зв'язок** її складових. Він розглядається як спосіб дії, взаємодії або відношень складових між собою, обумовлюючи структуру системи та її розміщення у просторі і часі.

У стандартах ISO серії 9000 представлена процесна модель постійного поліпшення системи управління якістю (рисунок 2.2) [5]. З цієї схеми видно, що в якості базового положення до неї закладена орієнтація на споживача, що є *входом* і *виходом* системи якості.

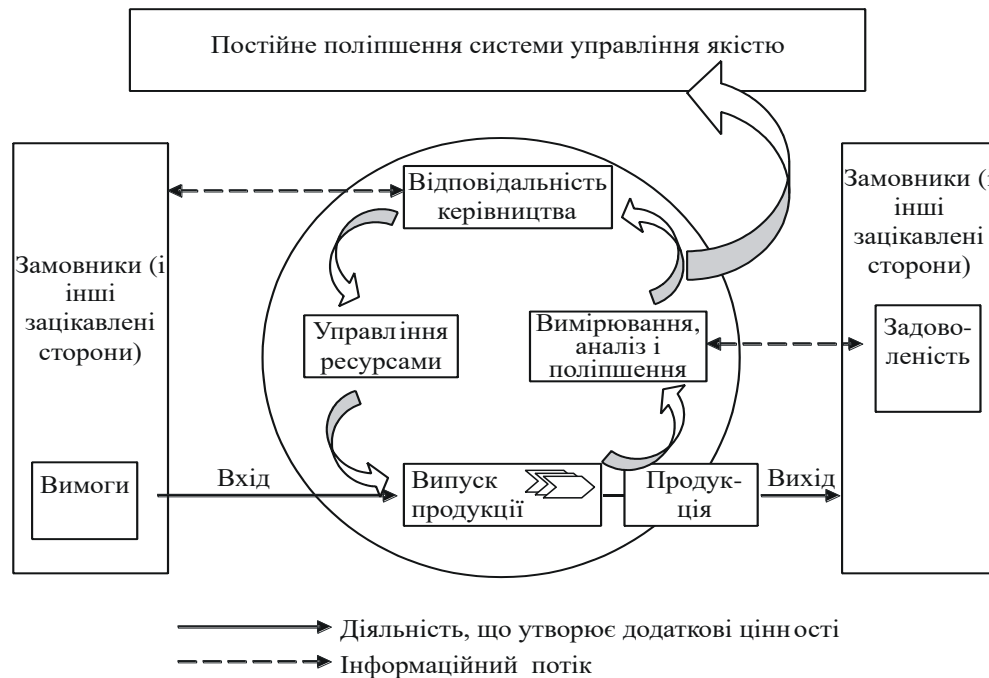


Рисунок 2.2 – Модель системи управління якістю організації, в основу якої покладений процес [5]

З погляду теорії управління це передбачає наявність зворотного зв'язку та *ітераційного процесу* покращання якості.

Порядок виконання роботи студентом:

- обирає та узгоджує з викладачем предметну галузь та процес, який буде аналізуватися;
- згідно з рис. 2.1 для обраного процесу представляє систему управління з ідентифікацією складових системи та потоків інформації;

- пояснює призначення оберненого зв'язку;
- згідно з рис. 2.2 в узгодженості рис. 1 визначає складові системи управління якістю з визначенням циклічності та обернених зв'язків;
- визначає (пропонує) способи ідентифікації складових системи;
- формулює висновки, оформлює звіт з роботи та захищає його.

Оформлення роботи: згідно з відповідними методичними вказівками, що діють в УДУНТ. Пояснювальна записка, як правило, містить: титульний аркуш; реферат; зміст; короткий опис розробки; висновки та рекомендації; перелік посилань.

Обсяг пояснювальної записки – 4...6 стор.; ф. А4; шрифт 14; 1 інтервал.

Захист роботи здійснюється у ході співбесіди студента з керівником. Наявність заліку враховується при формуванні заключної оцінки з навчальної дисципліни.

Практична робота № 2 «Аналіз видів зв'язків у системі»

Мета: набуття студентами умінь та навиків ідентифікації зв'язків у системі в певній області діяльності.

Суть розробки: ідентифікація студентом видів зв'язків у системі.

Приклади визначення предметної сфери розробки: металургія; виготовлення харчові продукти; надання послуг у побутовій сфері; розробка програмних продуктів тощо.

Загальні положення

Система – це цілісний комплекс взаємозв'язаних або взаємодіючих елементів (об'єктів, частин, елементів тощо) [1, 2, 9].

Стосовно прикладних аспектів, що пов'язані з діяльністю людей, призначення системи – це **раціональне управління** для задоволення вимог стейкхолдерів [1].

Середовище – це сукупність всіх об'єктів, які впливають на систему, а також об'єктів, що змінюються під впливом системи, але не входять до її складу.

Обов'язковою властивістю системи є **зв'язок** її складових. Він розглядається як спосіб дії, взаємодії або відношень складових між собою, обумовлюючи структуру системи та її розміщення у просторі і часі.

Зміна оточуючого середовища призводить до зміни призначення системи та її внутрішніх і зовнішніх зв'язків.

Зазвичай розглядаються наступні типи зв'язків: механічні, енергетичні, інформаційні, генетичні, емоційні, ментальні, за керуванням тощо [2...4].

Вони визначають як будову (статика), так і функціонування (динаміку) системи.

Зв'язок характеризується:

- напрямом (направлений/ненаправлений, прямий/зворотний);
- силою (сильний/слабкий);
- характером (ієрархічний, рівноправний, керуючий, генетичний тощо);
- місцем реалізації (внутрішній/зовнішній для системи).

Зв'язки можна класифікувати наступним чином:

- зв'язки взаємодії (координації), наприклад, фізичні закони матеріального світу;
- зв'язки генетичні (підстава до появи іншого елементу);

- зв'язки перетворення (підстава для зміни іншого елементу);
- зв'язки будови (відображення структури об'єкту);
- зв'язки функціонування (забезпечення цілеспрямованих дій об'єкту);
- зв'язки розвитку (забезпечення зміни рівня функціонування та/або структури об'єкту);
- зв'язки керування.

Узагальнюючим поняттям наведених видів зав'язків є категорія «відносини».

За цією категорією та представленим переліком розрізняють:

- зв'язки *першого порядку*, які є функціонально необхідними;
- зв'язки *другого порядку*, що можуть розглядатися як додаткові для покращення функціонування системи (наприклад, при появі синергетичних ефектів);
- зв'язки *третього порядку*, якщо вони виявляються зайвими або суперечливими. Подібні зв'язки можуть бути пов'язані з наявністю в системі (зазвичай – штучній) зайвої або шкідливої складової, яка зумовлює *надмірність* або відповідно – *суперечливість* у системі.

Сукупність необхідних і достатніх для досягнення цілі відносин між складовими називається **структурою системи**, а сукупність складу і структури – **структурною схемою системи**

При цьому, **функція є визначальною відносно структури системи**.

Найпростішими зв'язками є послідовне (рисунк 2.3, а) – для елементів А та В, паралельне (рис.2.3, б) для елементів В і С з'єднання та обернений зв'язок [2].

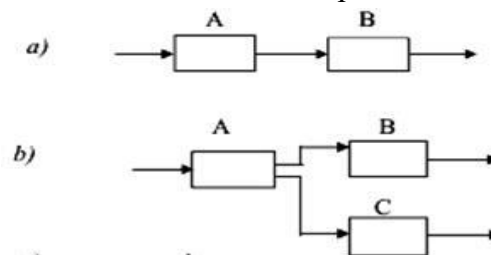


Рисунок 2.3 – Схеми послідовного (а) та паралельного (б) зв'язків елементів системи

За топологією внутрішніх зв'язків, окрім представлених на рис. 3, розрізняють також структури: радіальні (рисунк 2.4,а), кільцеподібні (рис. 2.4,б), типу повний граф (рис. 2.4,в), деревоподібні (рис. 2.4,г), нейронні мережі, незв'язані тощо.

Порядок виконання роботи студентом:

- обирає та узгоджує з викладачем предметну галузь та систему, яка буде аналізуватися;
- згідно з рис. 2.3 та 2.4 для *обраної предметної сфери* наводить приклади структур різних видів з поясненнями зав'язків складових системи;
- визначає вид зв'язків за рис. 2.2 (див. Практичну роботу № 1), який представляє Модель системи управління якістю організації за стандартом ISO 9001;
- формулює висновки, оформлює звіт з роботи та захищає його.

Оформлення роботи: згідно з відповідними методичними вказівками, що діють в УДУНТ.

Пояснювальна записка, як правило, містить: титульний аркуш; реферат; зміст; короткий опис розробки; висновки та рекомендації; перелік посилань.

Обсяг пояснювальної записки – 4...6 стор.; ф. А4; шрифт 14; 1 інтервал.

Захист роботи здійснюється у ході співбесіди студента з керівником. Наявність заліку враховується при формуванні заключної оцінки з навчальної дисципліни.

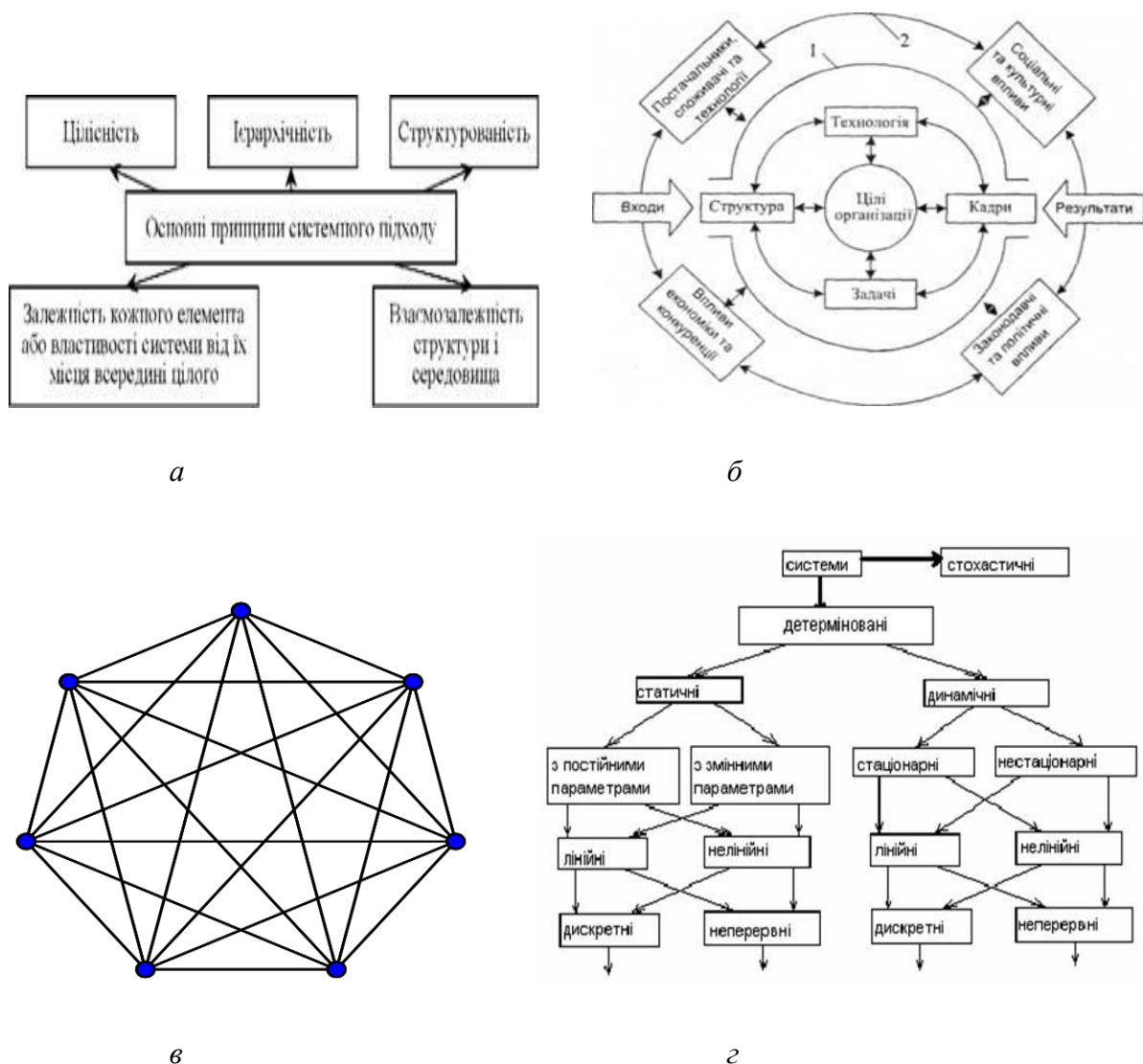


Рисунок 4 – Види представлення елементів структури: *a* – радіальна; *б* – кільцева; *в* – типу «повний граф» з точками, які відповідають зв’язаним елементам структури; *г* – деревоподібна

Практична робота № 3
«Зіставлення статичних і динамічних закономірностей існування систем»

Мета: набуття студентами умінь та навиків аналізу закономірностей існування в статиці і розвитку в динаміці систем з прогнозуванням змін для свідомого керування ними.

Суть розробки: зіставлення суті основних характеристик закономірностей існування і розвитку систем для можливого сприяння їх ефективного застосування.

Приклади визначення предметної сфери розробки: металургія; виготовлення харчові продукти; надання послуг у побутовій сфері; розробка програмних продуктів тощо.

Загальні положення

Життя системи, що свідомо розробляється, узагальнено складається з двох етапів: ідеального (розробка ідей; аналіз; проектування; планування) та реального (побудова системи; освоєння; експлуатація; «смерть») [1].

У найширшому сенсі будь-яка система підкоряється **ЗАГАЛЬНИМ ЗАКОНАМ РОЗВИТКУ ПРИРОДИ І СУСПІЛЬСТВА**.

Матеріалістичний підхід у філософському сприйнятті світу ґрунтується на принципах:

- матеріальної єдності світу;
- розвитку світу.

Згідно цим принципам, аналіз будь-якої системи повинен розглядатися на двох рівнях:

- у статиці, яка, здебільшого, пов'язана зі структурою (будовою) системи;
- у динаміці (розвитку), що відображує, здебільшого, процеси в системі.

Під цим розуміється, що у Всесвіті *поза людською свідомістю* існують взаємодіючі в часі матеріальні об'єкти, розташовані в просторі. Оцінка ж причинно-наслідкових зв'язків і, тим більше - показників якості цих об'єктів проводиться суб'єктивно, тобто за участю людини.

У зв'язку з цим, первинними базовими *суб'єктивними оцінними показниками* того, що *об'єктивно* існує, представляються: **маса (енергія), розміри і час**. Тим більше, *суб'єктивними* представляються похідні від первинних оцінні показники, наприклад, сила як міра взаємодії мас, напруга як сила, що діє на одиниці площі, частота як кількість змін будь-якого показника в одиницю часу, коефіцієнт тертя як відношення сили тертя до нормально спрямованої сили тощо.

Основою процесів, які відповідають принципу «матеріальної єдності світу», є

ЗАКОН ЗБЕРЕЖЕННЯ ЕНЕРГІЇ.

В основі принципу *розвитку* всього сушого лежать закони діалектики:

- **ЗАКОН ЄДНОСТІ І БОРТЬБИ ПРОТИЛЕЖНОСТЕЙ;**
- **ЗАКОН ВЗАЄМНОГО ПЕРЕХОДУ КІЛЬКІСНИХ І ЯКІСНИХ ЗМІН;**
- **ЗАКОН ЗАПЕРЕЧЕННЯ ЗАПЕРЕЧЕННЯ.**

Знання загальних законів розвитку дозволяє цілеспрямовано проектувати системи та здійснювати системний аналіз). У зв'язку з цим, важливо знати наслідки загальнофілософських законів розвитку, вказаних вище і перевірені загальнолюдською практикою.

Із закону збереження енергії виходить положення, яке формулюється так:

«ЕНЕРГІЯ ІЗОЛЬОВАНОЇ СИСТЕМИ ПОСТІЙНА».

В результаті, неможливо сконструювати так званий «вічний двигун першого роду». При цьому всі види енергії можуть бути повністю перетворені на теплоту, тоді як теплота ні за яких умов в ізольованій системі не може бути *повністю* перетворена на інші види енергії.

Надзвичайно важливим для розуміння процесів, що відбуваються в природі, стає «принцип максимуму ентропії», який є наслідком законів термодинаміки:

«В ІЗОЛЬОВАНІЙ СИСТЕМІ САМОВІЛЬНО МОЖУТЬ ПРОТІКАТИ ЛИШЕ ТІ ПРОЦЕСИ, В РЕЗУЛЬТАТІ ЯКИХ ЕНТРОПІЯ ЗБІЛЬШУЄТЬСЯ».

Пригадаємо, що фізична суть «ентропії» – це міра безладу, міра власної неврівноваженості системи.

Висловлене вище положення можна тлумачити і так: «Для самовільного протікання будь-яких процесів в ізольованій системі повинна виділятися енергія, необхідна для протікання цих процесів».

Єдиний процес розвитку охоплює неживу і живу природу.

Перехід від неживого до живого уявляється як один з етапів єдиного процесу самоорганізації, нескінченного процесу ускладнення форм існування матерії. При вивченні складних неврівноважених процесів фізичної, хімічної, біологічної і навіть соціальної природи все більшу користь приносить метод аналогій цих процесів.

Так, стосовно процесів забезпечення якості викладений принцип максимуму ентропії означає необхідність докладання організаційних зусиль («витрат енергії») для проведення відповідних робіт, і неможливості отримання позитивних результатів при пуску справ «на самоплив».

Ще одним важливим законом неврівноваженої термодинаміки є «принцип *економії ентропії*» Л. Онзагера та І. Пригожина:

«ВИРОБНИЦТВО ЕНТРОПІЇ СИСТЕМОЮ, ЯКА ЗНАХОДИТЬСЯ В СТАЦІОНАРНОМУ ТА БЛИЗЬКОМУ ДО РІВНОВАЖНОГО СТАНІ, МІНІМАЛЬНО».

Стосовно діяльності організації вказане положення з достатньою підставою можна трактувати таким чином: **«Зміни в організації слабнуть з розвитком у ній застійних тенденцій (явищ)».**

Відносно живої природи все більше використання знаходить і емпіричний «принцип *мінімуму дисипації*». Суть його полягає в наступному:

«ЯКЩО В ДАНИХ КОНКРЕТНИХ УМОВАХ МОЖЛИВІ ДЕКІЛЬКА ТИПІВ ОРГАНІЗАЦІЇ МАТЕРІЇ, ТО В СИСТЕМІ РЕАЛІЗУЄТЬСЯ ТА СТРУКТУРА, ЯКІЙ ВІДПОВІДАЄ МІНІМАЛЬНЕ ЗРОСТАННЯ ЕНТРОПІЇ»

або інакше: *«...реалізується така форма організації, яка супроводжується мінімальними змінами. Як правило, це супроводжується максимальним неефективним поглинанням зовнішніх ресурсів».*

Аналогічний принцип Ле-Шательє - Брауна, що вивчається в курсі хімії, свідчить:

«При спробі ззовні внести зміни в систему, остання перебудовується так, щоб мінімізувати ефект дії».

Принцип Ле-Шательє-Брауна не обмежується рамками хімії, а має загальне значення. Тут слід звернути увагу на те, що мінімізується саме *ефект дії*, а не *величина дії*. Цей принцип в живій природі виявляється як прагнення до самозбереження або стабільності (*гомеостазису*) системи.

Еволюція є результатом суперечливої взаємодії двох принципів: *розвитку* і *збереження колишнього стану* (Закон «Єдності і боротьби протилежностей»!).

Для розв'язання цієї суперечності жива система, яка самоорганізується, покидає старий стан, щоб знайти новий стійкий стан. А це можна зробити тільки за рахунок зовнішніх ресурсів (енергії та/або речовини).

Вирішення подібних протиріч в природі фактично відображається всім різноманіттям організаційних форм матеріального світу.

Стосовно людської діяльності принцип Ле-Шательє-Брауна має специфічні риси і виражається в тому, що «порожня, неефективна метушня», як правило, не викликає опору системи змінам. З іншого боку, будь-який ефективний зовнішній вплив на систему неминуче викликає її протидію і зумовлює реалізацію (ефективність) нововведень на *мінімально можливому рівні*.

При оцінці початкового стану системи слід керуватися, перш за все, «принципом *достатньої підстави*», або «принципом Галілея»:

«ВСЕ, ЩО ІСНУЄ, МАЄ ДЛЯ ЦЬОГО ДОСТАТНІ ПІДСТАВИ».

По-перше, принцип Галілея, вимагає упевненості в тому, що об'єкт, який розглядається, дійсно існує, а не є плодом уяви. По-друге, стверджується, що існування цього об'єкту має під собою *реальні основи*, навіть якщо відразу незрозуміло, які саме.

З принципом Галілея тісно пов'язаний ще один принцип пізнання, відомий як «Бритва Оккама». Його класичне формулювання свідчить:

«НЕ ПРИМНОЖУЙ СУТНІСТЬ БЕЗ ПОТРЕБИ».

Це положення закликає шукати реальні, наукові причини явищ (без залучення містики). У поєднанні з принципом Галілея принцип «Бритва Оккама» є найважливішою аксіомою творчості, що дозволяє новатору утримуватися в межах знання або розширювати ці межі, але завжди шукати природні причини явищ, що відбуваються в системі, і не впадати у псевдонаукове тлумачення.

Наслідком принципу «Бритва Оккама» вважають положення, згідно якому **«витрачання ресурсів для реалізації будь-яких дій повинне відповідати результату цих дій».**

Найважливішим інструментом розвитку систем, що дозволяє передбачати хід розвитку, його динаміку і, в якійсь мірі - результати, є сформульований відносно недавно «принцип пов'язаних підсистем» В.А. Геодакяна:

«СИСТЕМА, ЩО ЕВОЛЮЦІОНУЄ У ЗМІННОМУ СЕРЕДОВИЩІ, В ПРОЦЕСІ ЕВОЛЮЦІЇ РОЗПАДАЄТЬСЯ НА ПАРУ ПІДСИСТЕМ, ОДНА З ЯКИХ СПЕЦІАЛІЗУЄТЬСЯ ЗА КОНСЕРВАТИВНИМИ ЧИННИКАМИ, А ІНША - ЗА ПРОДУКТИВНИМИ ЧИННИКАМИ ЕВОЛЮЦІЇ. ПРИ ЦЬОМУ ЗАГАЛЬНА СТАБІЛЬНІСТЬ СИСТЕМИ ПІДВИЩУЄТЬСЯ».

На цьому принципі заснований цілий розділ системотехніки, пов'язаний із згортанням-розгортанням систем. На цьому ж принципі базуються Функціонально-Ідеальне Моделювання (ФІМ) і Реінжиніринг Організаційної Діяльності, зокрема – у сфері якості.

Кількісні параметри критерію *консервативність/оперативність* визначає відоме «Співвідношення Парето». Відповідно до цього положення, емпірично встановленого в 30-х роках ХХ століття, при ненасильницькому розвитку будь-якої системи, що включає людину, 80% – це її консервативна складова, а 20% – непостійна. Але саме ці 20% продуктивності і здійснюють 80% всіх змін.

Це співвідношення «4:1», або «80:20%» може мати багаторівневу структуру, наприклад, на I рівні 64:16%; на II рівні 16:4%, а в цілому - 80:20% при збереженні співвідношення на кожному рівні 4:1.

Там, де діють *групи людей*, статистичні чинники творять нівелюючий (послаблюючий) вплив на змінні параметри системи, і співвідношення Парето може складати, наприклад, 83,3:16,7% .

Представлені закони мають специфічну реалізацію стосовно *систем об'єкту творчості (ОТ)*, тобто при розробці і аналізі систем.

Як і системи взагалі, їх слід розглядати в статистиці та в динаміці.

До *статичних властивостей* «систем ОТ» відносяться наступні.

«КІЛЬКІСТЬ СИСТЕМНИХ ПРЕДСТАВЛЕНЬ БУДЬ-ЯКОГО ОБ'ЄКТУ НЕВИЗНАЧЕНО ВЕЛИКА».

Дійсно, будь-який об'єкт можна розглянути в найрізноманітніших відносинах. Тут свобода творчості визначається лише межами пізнаного.

«ФУНКЦІЯ СИСТЕМИ НЕ ПОВНОЮ МІРОЮ ВИЗНАЧАЄ СИСТЕМУ».

Сенс цього положення полягає в тому, що функція є наслідком *стану і розвитку* системи, причому для будь-якої функції може бути в думках «створена» й інша «історія» (тобто ланцюг причинно-наслідкових зв'язків), що приводить до того ж результату.

«СТАН СИСТЕМИ ВИЗНАЧАЄТЬСЯ ХАРАКТЕРОМ ІНФОРМАЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ, ЩО ПРОХОДЯТЬ В НІЙ, ПРИЧОМУ ІНФОРМАЦІЯ ПОВИННА БУТИ ВИЗНАЧЕНОЮ В ТИХ ЖЕ ВІДНОСИНАХ, ЩО І САМА СИСТЕМА».

Сенс цього положення полягає в тому, що матеріальний та (або) інформаційний потік не буде «відмічений» системою, якщо його проходження через систему не породить в ній «зрозумілої» для системи інформації. На це положення нечасто звертають увагу. Проте урахування цього положення дозволяє ефективно вирішувати безліч творчих задач, шляхом, наприклад, уявного «транспортування» крізь систему лише інформації про матеріальні потоки замість самих матеріальних об'єктів.

«КІЛЬКІСТЬ ІНФОРМАЦІЇ СИСТЕМИ ЗАВЖДИ ПЕРЕВИЩУЄ КІЛЬКІСТЬ ІНФОРМАЦІЇ МНОЖИНИ ЕЛЕМЕНТІВ, ЩО СТАНОВЛЯТЬ СИСТЕМУ, АЛЕ НЕ ПОВ'ЯЗАНИХ МІЖ СОБОЮ».

Це не що інше, як представлено вище твердження, що в системі «*ціле більше суми своїх частин*», що спонукає до ідентифікації *емерджентних властивостей* та *синергетичних ефектів*.

Порядок виконання роботи студентом:

- знайомиться з представленим переліком закономірностей;
- виділяє з них ті, що, здебільшого, віддзеркалюють статичні властивості від тих, що більше відображують динаміку систем;
- для системи, яку представляє із себе навчальний процес в університеті, розглядає всі представлені закономірності, пояснюючи їх прояв;
- формулює висновки, оформлює звіт з роботи та захищає його.

Оформлення роботи: згідно з відповідними методичними вказівками, що діють в УДУНТ. Пояснювальна записка, як правило, містить: титульний аркуш; реферат; зміст; короткий опис розробки; висновки та рекомендації; перелік посилань.

Обсяг пояснювальної записки – 4...6 стор.; ф. А4; шрифт 14; 1 інтервал.

Захист роботи здійснюється у ході співбесіди студента з керівником. Наявність заліку враховується при формуванні заключної оцінки з навчальної дисципліни.

Практична робота № 4

«Аналіз S-подібної закономірності розвитку технічних систем»

Мета: набуття студентами умінь та навиків аналізу стадій розвитку технічних систем і прогнозування оцінки їх ефективності у періоди життєвого циклу.

Суть розробки: зіставлення основних характеристик системи на послідовних стадіях її існування та розвитку стосовно життєвого циклу об'єкту – технічної системи система, визначення ефективності та якісних показників її функціонування.

Приклади визначення предметної сфери розробки: металургія; виготовлення харчові продукти; надання послуг у побутовій сфері; розробка програмних продуктів тощо.

Загальні положення

Експериментально встановлено, що розвиток систем, зокрема – технічних (реальних) систем (ТС) підкоряється закономірності «S-подібного розвитку» (рисунок 2.5) з виділенням 4 етапів життя такої системи [1].

А. «Народження» і «дитинство» системи.

Нова система з'являється на певному рівні розвитку науки і техніки, коли виконані дві головні умови: є потреба в системі і є можливості її реалізації.

Спочатку головною рушійною силою *розвитку* системи є особистий інтерес її творців. Одночасно поява нової системи завжди зустрічає недовіру і активний опір її впровадженню, яке посилюється в тих випадках, коли нова система *принципово нова* і йде на заміну старої. Коли рівень корисності нової системи усвідомлюється всіма учасниками процесу і суспільством, у цілому), починається новий етап в її розвитку.

Б. Період інтенсивного розвитку системи.

Специфікою цього етапу є швидкий, лавиноподібний розвиток, що нагадує часом ланцюгову реакцію. Наприкінці цього етапу «народжуються» подібні та/або того ж самого призначення нові системи на основі переходу *кількісних змін* основних характеристик «старої» системи до її *якісних змін*.

В. Уповільнення розвитку системи.

Характерною рисою даного етапу розвитку стає активне витіснення найбільш ефективною новою системою собі подібних, включаючи застарілу. При цьому, породжується безліч модифікацій і різновидів системи, пристосованих для різних умов і цілей.

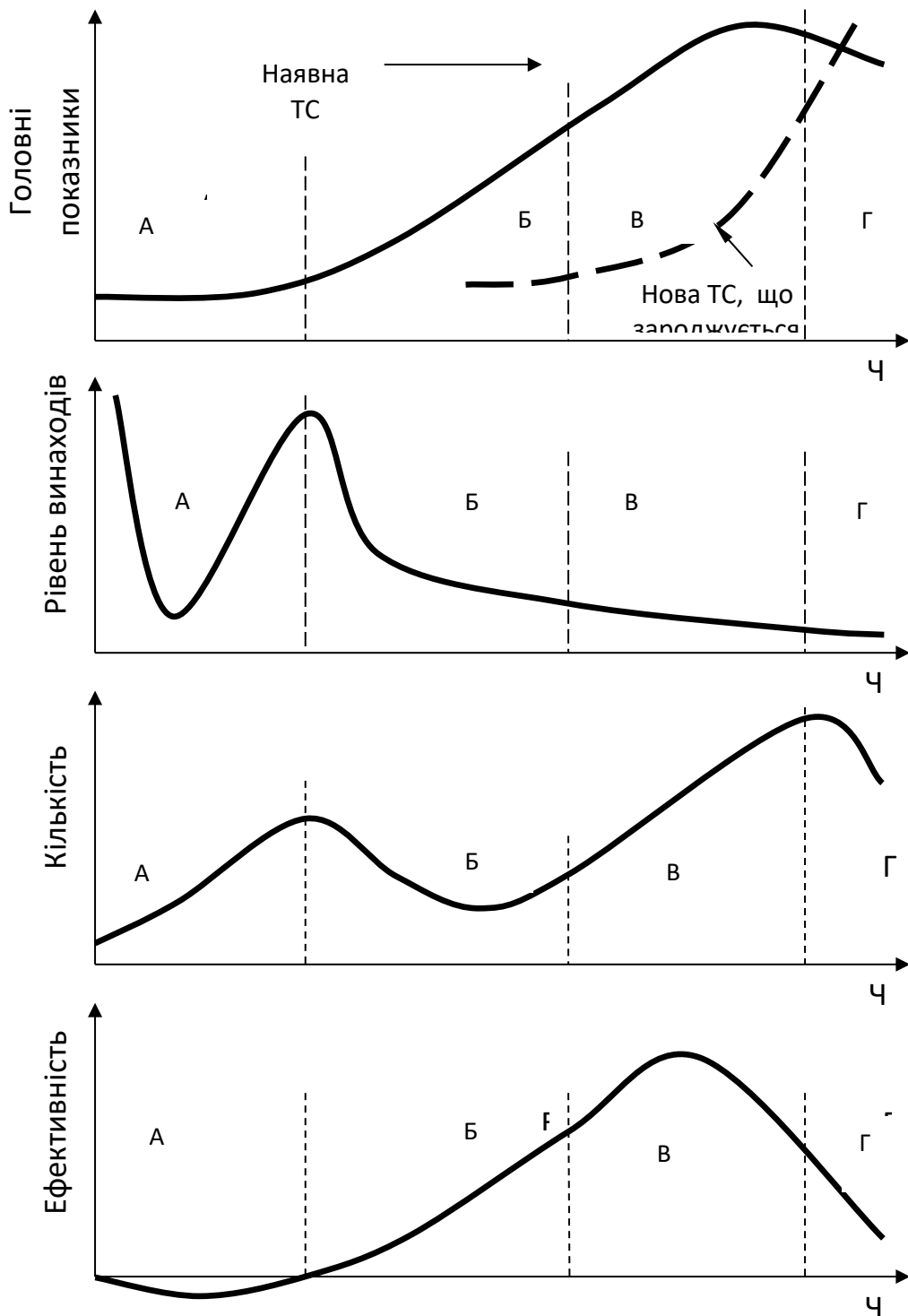


Рисунок 2.5 – Зміна у часі характеристик розвитку технічних систем («Ч» – час спостереження; інші позначення у тексті) [1]

На етапах Б і (особливо) В «стара» система стає економічно вигідною, ефективність її застосування постійно росте, але наприкінці етапу В, не дивлячись на збільшення внеску ресурсів у розвиток системи, зростання інших найважливіших її характеристик сповільнюється.

У розвитку системи починається і розвивається наступний етап:

Г. «Старість» і «смерть» системи.

На цьому етапі стан і параметри системи стабілізуються. Їх можливий невеликий приріст, що ще спостерігався на початку етапу, надалі практично зникає, не дивлячись на те, що вкладення ресурсів продовжує зростати. Разом з тим, економічність системи може залишатися ще високою, тому що навіть невеликі удосконалення, використовувані за умови масового застосування, виявляються ефективними.

Врешті-решт, стара система «вмирає», замінюється принципово новою, прогресивнішою, такою, що має нові можливості для подальшого розвитку. Далі цикл повторюється.

У багатьох випадках нова система, яка здатна замінити стару, виникає практично одночасно з нею. З погляду інтересів суспільства керований перехід до нової системи є доцільним вже на третьому етапі (етапі В), що дозволяє уникнути марних витрат.

Є підстави вважати, що S-подібна закономірність розвитку, більш звична для технічних систем, характерна і для інших систем, пов'язаних з діяльністю людини. Це стосується, зокрема, менеджменту якості й інноваційної діяльності у сферах якості і технічного регулювання (стандартизації, метрології, оцінки відповідності і сертифікації тощо). Одним з прикладів цього може бути періодична заміна стандартів з побудови систем якості їх новими версіями.

Можна стверджувати, що кожна з підсистем, що розглядається окремо і входить до *своєї* надсистеми, також проходить всі представлені чотири етапи. Тому S-подібні криві для складних систем можуть бути інтегральними, такими, що складаються з окремих аналогічних за формою кривих для кожної з підсистем.

Розвиток системи зазвичай обмежується розвитком «найслабкішої» підсистеми, яка «вмирає» першою.

Порядок виконання роботи студентом:

- обирає та узгоджує з викладачем предметну галузь та систему, яка буде аналізуватися;
- характеризує етапи розвитку технічних систем і динаміки появи відповідних інновацій за рис. 2.5;
- наводить приклади явищ, які відповідають цим етапам;
- робить експертну оцінку із зіставлення етапів «життя» з точки зору задоволеності її характеристиками різних груп споживачів (стейкхолдерів);
- наводить приклад з визначення комплексної оцінки якості продукції у відповідності з предметною сферою;
- формулює висновки, оформлює звіт з роботи та захищає його.

Оформлення роботи: згідно з відповідними методичними вказівками, що діють в УДУНТ. Пояснювальна записка, як правило, містить: титульний аркуш; реферат; зміст; короткий опис розробки; висновки та рекомендації; перелік посилань.

Обсяг пояснювальної записки – 4...6 стор.; ф. А4; шрифт 14; 1 інтервал.

Захист роботи здійснюється у ході співбесіди студента з керівником. Наявність заліку враховується при формуванні заключної оцінки з навчальної дисципліни.

Практична робота № 5
«Особливості системного підходу»»

Мета: освоєння студентами принципів системного підходу.

Суть розробки: конкретизація принципів системного підходу на прикладі застосування до конкретного об'єкту.

Приклади визначення предметної сфери розробки: будь-яка сфера економічної діяльності або природна система.

Загальні положення

Незалежно від характеру системи, що проектується або аналізується, **суть системного підходу** полягає у наступному [2...3, 10]:

- 1) вимога розглядати сукупність елементів системи як *єдине ціле*;
- 2) визнання того, що властивості системи зумовлюють особливі (*емерджентні*) властивості;
- 3) відзнакою системи є її *ефективність*. Завжди існує *функція цінності* системи у вигляді залежності її ефективності (майже завжди – це економічний показник) від умов побудови і функціонування. Зокрема, це означає, що можна і потрібно шукати її максимум;
- 4) заборона розглядати дану систему у відриві від надсистеми - навколишнього середовища;
- 5) можливість (а іноді і необхідність) при аналізі - розділення системи на *підсистеми*. Якщо останні виявляються недостатньо прості для аналізу, з них, у свою чергу, також виділяють підсистеми.

Стан системи – це зафіксовані значення характеристик системи, важливі для цілей дослідження. Зміна довільної з числа цих характеристик означає перехід системи до іншого стану.

Між середовищем та системою існують відношення, які узгоджуються через *призначення системи – її мету*. Мета відображує те, що може чи повинно виникнути, прообраз майбутнього, стан, який бажано досягнути.

Пізнавальний аспект мети відповідає прогнозу майбутнього, а *конструктивний* – можливим способам переходу до бажаного майбутнього чи *плану дій*. У тих випадках, коли мета відносно проста, усвідомлення мети включає і спосіб її досягнення, а у випадку складної мети – *план* набуває самостійного значення як елемент постановки мети. План встановлює послідовність етапів досягнення мети, визначаються засоби та методи, строки дій.

Мета може змінюватися залежно від розвитку системи в часі і конкретизується шляхом декомпозиції

Декомпозиція – це поділ системи на частини з метою зробити зручними певні операції з цією системою.

Найважливішим стимулом і суттю декомпозиції є спрощення системи, якщо вона є надмірно складною для розгляду цілком.

З точки зору мети дослідження *елементи системи* не повинні піддаватися подальшій декомпозиції при обраному рівні розгляду системи.

Відповідним чином формулюються **принципи системного підходу**.

1. *Принцип остаточної (глобальної) мети*: глобальна мета системи має абсолютний пріоритет. В дещо модифікованому вигляді принцип остаточної мети застосовується до систем, що не є цілеспрямованими (наприклад, природні системи) — для таких систем поняття остаточної

мети замінюється поняттям основної властивості системи.

2. *Принцип єдності*: сумісний розгляд системи і як цілого, і як сукупності компонентів (елементів, підсистем, системотворчих відношень).

3. *Принцип зв'язності*: кожний компонент системи слід розглядати сумісно з його зв'язками з оточенням.

4. *Принцип модульності*: в багатьох випадках в системі доцільно реалізувати декомпозицію на складові (модулі) різного ступеня загальності та розглядати її як сукупність модулів та зв'язків між ними. Принцип модульності вказує на можливість розгляду замість частини системи сукупності входів та виходів цієї частини, тобто дозволяє абстрагуватися від зайвої деталізації за умови збереження можливості адекватного описання системи.

5. *Принцип децентралізації*: в управлінні системою співвідношення між централізацією та децентралізацією визначається призначенням та метою системи. Цей принцип орієнтує на розумний компроміс між повною централізацією та наданням здатності реагувати на певні дії частинам системи. Система з повною централізацією буде негнучкою, нездатною до пристосування; ймовірно, що в такій системі інформаційні канали, що ведуть до керуючого елементу, виявляться перевантаженими, а сам керуючий елемент буде нездатним опрацювати таку велику кількість інформації. Однак чим більше децентралізованими будуть рішення в системі, тим складніше їх узгодити з точки зору досягнення глобальної мети. В усіх таких випадках потрібен сильний обернений зв'язок. *Загальним є наступне правило: ступінь централізації повинна бути такою мінімальною, щоб забезпечити досягнення остаточної мети.* Оскільки конкретизація можлива не єдиним способом, то нижні рівні отримують ще один «ступінь свободи». При цьому, з точки зору верхнього рівня, деякі керуючі дії загального характеру можуть бути неправильно проінтерпретовані нижнім рівнем.

6. *Принцип невизначеності*: невизначеності та випадковості повинні братися до уваги при визначенні стратегії та тактики розвитку системи. Згідно з цим принципом, слід мати розуміння, що в багатьох (більшості, коли це стосується штучних систем за участю людини) випадках дослідники працюють з системою, про яку вони не все знають або не все розуміють у її поведінці. *Частковим випадком невизначеності є випадковість* — ситуація, коли вид події відомий, але вона може трапитися, або ж ні. На ґрунті такого означення можна розглядати *множину подій*, з яких одна з подій обов'язково трапиться.

7. *Принцип функціональності*: структура системи та її функції повинні розглядатися сумісно з **пріоритетом функцій над структурою**. З практичної точки зору це означає, що у випадку надання системі нових функцій доцільно переглядати її структуру, а не прагнути «втиснути» нову функцію в стару структуру.

8. *Принцип розвитку*: необхідно враховувати змінність системи, її здатність до розвитку, розширення, заміни складових, накопичення інформації. Цей принцип повинен закладатися при побудові штучних систем як здатність до вдосконалення, розвитку системи за умови збереження якісних особливостей та доцільних меж універсальності системи. Можливості для розвитку закладаються шляхом надання системі властивостей до самонавчання, самоорганізації, штучного інтелекту.

9. *Принцип ієрархії*: в більшості випадків систему доцільно розглядати як ієрархічну побудову, яка впорядковує її складові за вмістом і важливістю. Цей принцип акцентує увагу на корисності відшукування або створення в системі ієрархічного характеру зв'язків між її елементами, цілями, модулями. Ієрархічна *узагальнююча* система, зазвичай, створюється та досліджується «згори» як вищий рівень ієрархії. Принцип ієрархії відображається в *структурі системи* (рисунок 2.6).

Зрозуміло, що в узгодженості з принципами модульності та єдності (*див. вище*) у складі системи розгляду на нижчих рівнях підлягають *підсистеми аж до елементів системи*.

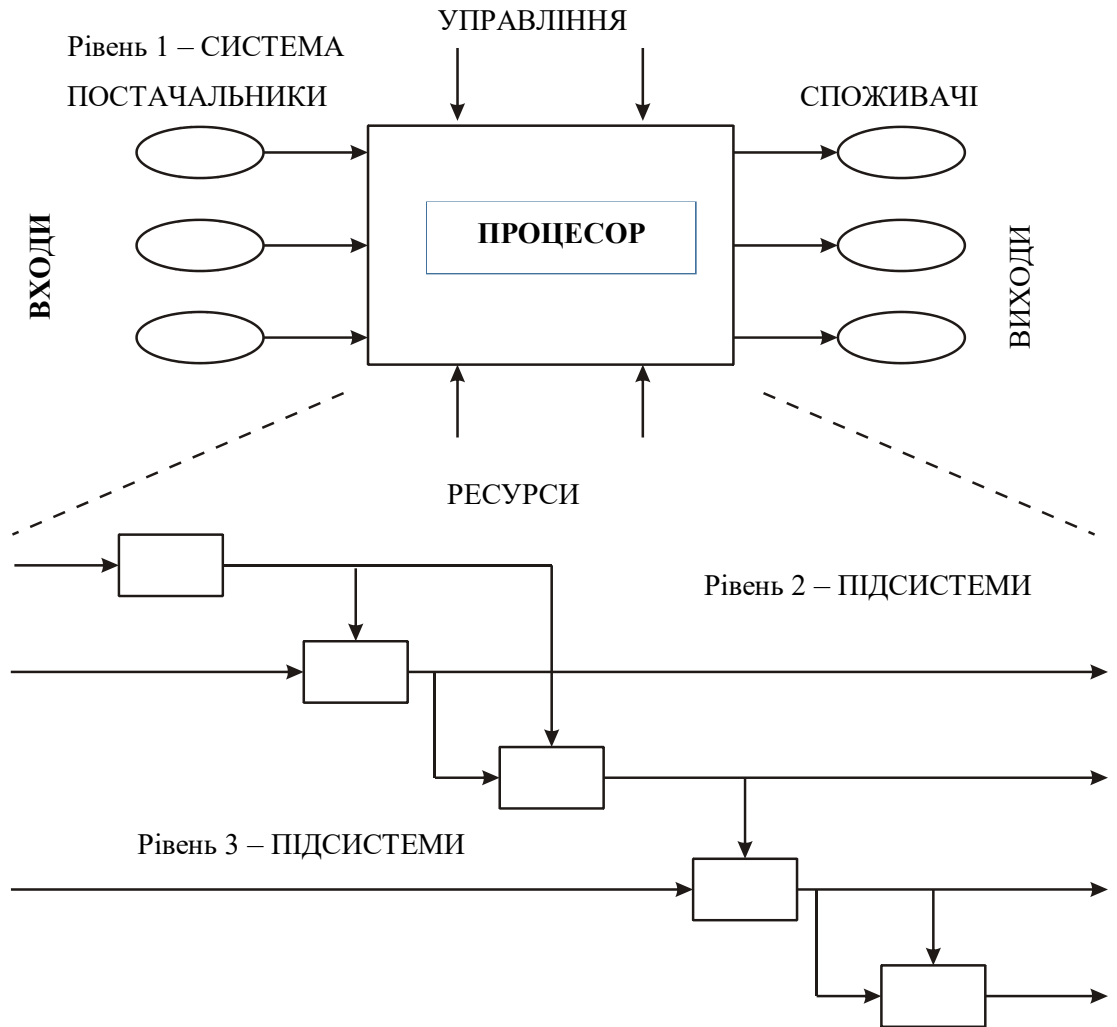


Рисунок 2.6 – Сумісне представлення «Системи» та її «підсистем», які реалізують процеси і підпроцеси

Під **елементом системи** мається на увазі первинний компонент (частина єдиного цілого), який у *рамках даного конкретного розгляду* (дослідження) не підлягає розділенню на частини.

У такій постановці можна вважати, що елемент системи – це **процесор**, який має «входи» та «виходи». Сам же **процесор** – це «місце», де виконується перетворення «входів» на «виходи» (рисунок 2.7), причому для розв’язання поставленого завдання може бути несуттєвим, як саме це перетворення відбувається.

Як правило, аналогічним чином систему представляють сумісно з відповідним **процесом** (процесами).

Перший рівень (див. рис. 2.6) є обов’язковим. Тут визначаються самі система і процес, їх «входи» та «виходи», керуючі впливи та критерії оцінки. За спеціальною формою визначаються:

- назва та сфера функціонування системи і відповідного процесу;
- всі виходи (споживачі, підрозділи, посадові особи, зовнішні організації, інші системи та/або процеси). Один «вихід» може йти до декількох споживачів або один споживач може бути пов’язаним зі всіма «виходами». Для кожного «виходу» визначаються вимоги споживачів;

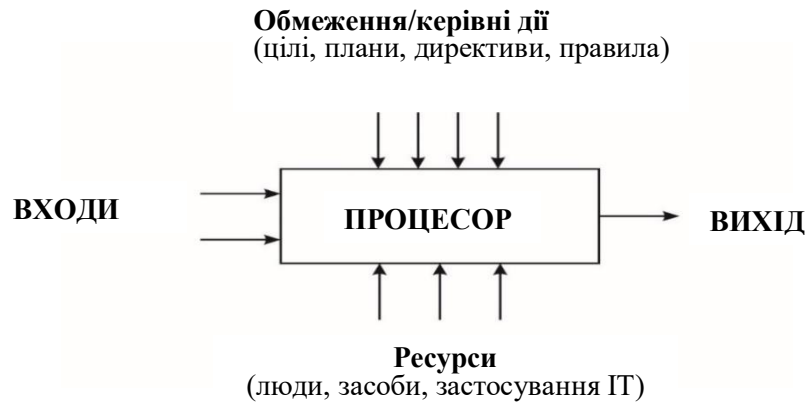


Рисунок 2.7 – Схема представлення системи (елементу) системи у вигляді «чорної скриньки» [1]

- головні «входи». Для кожного «входу» визначаються постачальники та їх вимоги;
- ресурси для функціонування системи та виконання процесу та вимоги до персоналу, який забезпечує дієздатність системи та виконує процес;
- необхідні матеріальні ресурси (обладнання, приміщення, робоче середовище);
- ключові внутрішні керуючі впливи (плани, бюджет, процедури тощо);
- ключові зовнішні керуючі впливи (вимоги законодавства, галузеві норми тощо).

Деталізація системи і процесу за рівнями 2 та 3 (див. рис. 2.7) визначається, виходячи з їх складності та потреб в аналізі і контролі.

Для конкретної системи чи проблемної ситуації принципи системного підходу повинні бути конкретизовані, тобто насамперед повинна бути дана відповідь на запитання:
«Що означає той чи інший принцип у цій предметній області та в цій конкретній ситуації?»

Порядок виконання роботи студентом:

- обирає та узгоджує з викладачем предметну галузь та систему, на прикладі якої буде розглядатися характеристики системного підходу;
- конкретизує аспекти суті системного підходу стосовно можливого розгляду визначеної системи;
- пояснює (з наведенням обґрунтування) застосовність принципів системного підходу стосовно визначеної системи;
- користуючись рис. 2.6, конкретизує надсистему, систему та 2...3 підсистеми визначеної системи;
- користуючись рис. 2.7, конкретизує 2...3 елементи системи з визначенням входів і виходів;
- формулює висновки, оформлює звіт з роботи та захищає його.

Оформлення роботи: згідно з відповідними методичними вказівками, що діють в УДУНТ. Пояснювальна записка, як правило, містить: титульний аркуш; реферат; зміст; короткий опис розробки; висновки та рекомендації; перелік посилань.

Обсяг пояснювальної записки – 4...6 стор.; ф. А4; шрифт 14; 1 інтервал.

Захист роботи здійснюється у ході співбесіди студента з керівником. Наявність заліку враховується при формуванні заключної оцінки з навчальної дисципліни.

Практична робота № 6

«Ідентифікація властивостей системи (елементи системного аналізу)»

Мета: освоєння студентами принципів системного підходу.

Суть розробки: конкретизація принципів системного підходу на прикладі застосування до конкретного об'єкту.

Приклади визначення предметної сфери розробки: будь-яка сфера економічної діяльності або природна система.

Загальні положення

Комплексний розгляд властивостей і аспектів існування (функціонування) систем сформував *методологію системного аналізу* як *інструменту реалізації системного підходу* [2...3, 9, 10].

Системний аналіз – це методологія дослідження таких властивостей та відношень в об'єктах, які важко спостерігаються та важко розуміються при представленні цих об'єктів у вигляді реальних систем, вивчення та аналіз властивостей цих систем як відношень між цілями та засобами їх реалізації, зокрема, при проектуванні.

Ця сфера знань може бути розділена на дві, досить умовні частини:

- *теоретичну*: що використовує інструментарій таких наук як теорія ймовірності, теорія інформації, теорія ігор, теорія графів, теорія ризиків, теорія прийняття рішень, топологія й ін.;
- *прикладну*, засновану на прикладній математичній статистиці, методах дослідження операцій, системотехніці тощо.

Мета системного аналізу – створення образу бажаного стану досліджуваної системи і навколишнього середовища, якими хотілося б замінити існуюче проблемне становище.

Системний аналіз відрізняється від інших методів дослідження тим, що:

- враховує принципову складність об'єкта, що досліджується; бере до уваги розгалужені та стійкі взаємні зв'язки його з оточенням (контекстом); враховує принципову неможливість спостереження ряду властивостей об'єкта та оточуючого середовища;
- реальні явища, їх властивості та зв'язки з оточенням переводяться при аналізуванні в абстрактні категорії теорії систем;
- ґрунтуючись на відомих властивостях складних систем, дозволяє виявити нові конкретні властивості та зв'язки конкретного об'єкта дослідження;
- на відміну від інших методів, в яких точно визначені об'єкти, включає як один з важливих етапів визначення об'єкта його знаходження чи конструювання;
- орієнтується не на розв'язання «правильно сформульованих» задач, а на правильній постановці задачі та виборі відповідних методів для її розв'язання;
- відшукує шлях, яким можна перетворити складну проблему в простішу не тільки до розв'язання, але й для розуміння;
- складну проблему перетворює в послідовність задач, для яких існують відносно прості методи їх розв'язання.

Потреба в застосуванні системного аналізу з'являється тоді, коли виникають наступні ситуації:

- розв'язується нова проблема, і за допомогою інструментарію системного аналізу її можна сформулювати і визначити, *що* і про що потрібно дізнатися, і *хто* що повинен знати;
- розв'язання проблеми передбачає координацію цілей з множиною засобів їх досягнення;

- проблема має розгалужені зв'язки, що викликають віддалені наслідки в різних галузях, і прийняття рішення в таких випадках потребує врахування сукупної ефективності та повних затрат;
- існують варіанти розв'язання проблеми або досягнення взаємно пов'язаного комплексу цілей, які важко порівняти;
- створюються нові складні системи;
- здійснюється вдосконалення, реконструювання виробництва, необхідна реінженерія бізнес-процесів;
- при створенні інформаційних систем та комп'ютеризованих систем керування;
- коли важливі рішення повинні прийматися за наявності невизначеності та ризику та (або) на достатньо віддалену перспективу.

При цьому слід мати на увазі, що *проблеми розрізняються за ступенем їх структурованості*:

- добре структуровані та сформульовані кількісно. Вони зазвичай не потребують проведення системного аналізу, оскільки існує достатній апарат математичного представлення задач та кількісні методи їх розв'язання;
- неструктуровані, якісні проблеми, для рішення яких у більшості випадків застосовуються евристичні методи;
- слабо структуровані, в яких використовуються як кількісні, так і якісні оцінки.

Основною областю застосування методів системного аналізу є слабо структуровані проблеми.

Для забезпечення успіху системного аналізу потрібно:

- застосовувати його у тих випадках, для яких він призначений;
- мати наявність потреби, зрозумілої мети та (або) призначення;
- відповідальне ставлення як аналітиків, так і організації-замовника;
- наявність накопиченої інформації, досвіду, ідей та уявлень про предмет дослідження;
- відображення в результатах системного аналізу реального стану справ та реальних шляхів рішення проблем, а не «обґрунтування» суб'єктивних рішень;
- наявність ресурсів — кваліфікованих експертів, обладнання, грошових засобів;
- аналіз можливого впливу сторонніх побічних позитивних та/або несприятливих факторів (прогноз науково-технічних досягнень, вплив політико-економічної ситуації тощо).

Системний аналіз обмежують дві наступні особливості:

- системні аналітики вивчають лише штучно створені системи, в яких людині належить надзвичайно важлива, а в багатьох випадках - і вирішальна роль;
- головна задача системного аналізу — прийняття рішень і управління.

Першим кроком при здійсненні системного аналізу виступає формальне або неформалізоване визначення ознак **класифікації системи**.

«Класифікація» — це багаторівневий, послідовний поділ обсягу поняття з метою систематизації, поглиблення та отримання нових знань стосовно членів поділу відповідно до наперед визначених їх ознак.

Результатом класифікації є система *підпорядкованих* понять: поняття, за яким проводиться поділ, є *родом*; нові поняття (члени поділу) є *видами* цього роду, *підвидами видів* тощо.

Якщо внаслідок класифікації утворюється щонайменше одна група з подальшим диференціюванням поняття, то класифікацію групування визначають як процес утворення *класів*.

Тому у таких випадках, вживають терміни: «класифікація» або «категоризація» у значенні щодо первинного розподілення об'єктів на *класи* (підкласи, види, підвиди тощо) або — відповідно — на *категорії* за істотними ознаками.

При побудові класифікацій керуються наступними правилами.

- в межах однієї класифікації слід застосовувати однакові підстави;
- кількість елементів сукупності, що підлягає класифікації, повинна дорівнювати кількості класів (родів);
- члени класифікації повинні бути різними за суттю;
- розділ на класи повинен забезпечити безперервність дослідження при переході з одного ієрархічного рівня у межах певного класу на інший найближчий.

Відповідним чином, існує декілька типів.

Узагальнено **класифікацію систем** можна представити у вигляді таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Узагальнені класифікаційні ознаки систем [2, 3]

Основна ознака	Клас (род) системи	Вид у класі	Підвид у виді
А. Природа об'єктів, з яких складається система	Матеріальні, що відображують об'єкти, які існують в реальному часі	Природні	Астрономо-космічні; планетарні; фізичні; хімічні
		Штучні (за роллю людини в об'єкті)	Технічні; організаційно-економічні
	Абстрактні, які представляють образи або моделі матеріальних систем	Описові (логічні)	
		Символічні (формалізовані, математичні)	Статичні
			Динамічні
Квазистатичні			
Квазидинамічні			
	Ймовірнісні		
Б. Взаємозв'язок з навколишнім середовищем	Відкриті		
	Закриті		
В. Характер функціонування	Реакція на зовнішні впливи	Адаптивні (пасивні)	
		Активні	
	Визначеність функціонування	Детерміновані	
		Стохастичні	
	Характер керованості	Керовані	
		Некеровані	
		Інтелектуальні	
	Стійкість властивостей і функцій у часі	Стабільні	
		Нестабільні	
	Час існування	Постійні	
		Тимчасові	
	Передбачуваність поведінки	Прості	
		Складні	

Закінчення табл. 2.1

Г. Структура	Складові	За участю біологічних об'єктів	Живі цілком	
			Живі частково	
	Зв'язок складових	Неживі (машини, механізми)	Централізований	
			Децентралізований	
	Величина структури	Кількість складових-елементів	Мала ($10^1 \dots 10^3$)	
			Середня ($10^3 \dots 10^7$)	
			Велика ($10^7 \dots 10^{30}$)	
			Суперсистема ($>10^{30}$)	
	Складність структури	Компонування за ієрархією підсистем	Без зворотного зв'язку	
			Із зворотним зв'язком	
		Паралельне порівняння	За різними моделями	
			За числом представлень об'єкту	
За переліком оціночних критеріїв				
	За рівнями оціночних критеріїв			

Необхідно мати на увазі, що зазвичай важко охарактеризувати конкретну систему певним переліком ознак, сформульованих у «чистому вигляді» за будь-якою класифікацією.

Додатковими особливостями, що характеризують складні системи, є:

- великі розміри (тобто велика кількість складових, велика розмірність відносин і кількість станів);
- складна ієрархічна структура, в якій поєднуються принципи централізованого і децентралізованого управління;
- багатоцільовий аспект функціонування;
- циркуляція великих інформаційних і енергетичних потоків, інформаційний обмін цих потоків із середовищем;
- зростання невизначеності в описі поведінки і, особливо, взаємодії із середовищем, зокрема, при введенні до розгляду конфліктних (суперечливих) ситуацій.

Системному аналізу підлягають загальні властивості систем, що відображені у таблиці 2.2.

Порядок виконання роботи студентом:

- обирає та узгоджує з викладачем предметну галузь та систему, на прикладі якої буде визначатися аспекти системного аналізу;
- конкретизує у формі таблиці 3 класифікаційні ознаки обраної системи, користуючись даними табл. 2.1;
- конкретизує (з наведенням обґрунтування) у формі таблиці 4 властивості обраної системи, користуючись даними табл. 2.2;
- визначає (в рамках ділової гри) коефіцієнти $a = \dots$, $b = \dots$ і $c = \dots$ для **свого** конкретного прикладу лінійної залежності виду $z(t, q_0) = a + b \cdot t + c \cdot q_0$ в діапазоні зміни значень деякого параметру q_0 системи та проміжку часу t ;
- розраховує *рівень чутливості* системи за формулою (1) з використанням даних, визначених у попередньому пункті завдання за наступним прикладом.

Таблиця 2.2 – Основні загальні властивості систем [1, 2, 5]

Властивість	Пояснення
1. Цілісність і структура	Система існує як щось ціле, що допускає його розгляд як сукупність взаємопов'язаних та організованих певним чином окремих складових.
2. Комунікативність	Наявність зв'язку системи з надсистемою.
3. Інваріантність	Отримання однакової реакції системи на однаковий вхідний вплив незалежно від часу.
4. Ієрархічність	Можливість при декомпозиції системи сумісного розгляду будь-якої її складової як частини цілого та як цілісної системи. Можливість побудови різних ієрархічних структур для досягнення тієї ж цілі.
5. Цілеспрямованість або цілеутворення	Наявність цілі та зміна системи при діях щодо досягнення цілі.
6. Керованість	Забезпечення та наявність цілеспрямованого функціонування системи.
7. Саморозвиток	Збільшення внутрішнього різноманіття та розв'язання виникаючих внаслідок цього протиріч.
8. Диференціація (обмеження різноманітності)	Ймовірність застою і деградації при штучному обмеженні розвитку та різноманіття.
9. Адаптивність, самоорганізація	Пристосування системи до завдання з досягнення цілі зі зменшенням ентропії (міри неупорядкування). Часто передбачає наявність підсистеми автоматизованої інформаційної підтримки.
10. Лабільність	Стан, який може швидко змінюватись залежно від факторів зовнішніх і внутрішніх збурень.
11. Стійкість, стабільність	Прагнення системи з різних початкових станів до деякого рівноважного стану.
12. Рівновага	Збереження початкового стану системи за відсутності зовнішніх впливів (збурень).
13. Стаціонарність	Стійкість у часі характеристик деякого (істотного) процесу.
14. Принципова невизначеність розвитку	При прогнозованому напрямку розвитку невизначеність поточних характеристик еволюції.
15. Надійність	Здатність зберігати свої найбільш істотні властивості, що потребує наявності підсистеми спостереження стану.
16. Спостереженість	Можливість безпосереднього або опосередкованого оцінювання стану системи та її складових.
17. Чутливість	<p>Рівень впливу варіації параметрів на властивості системи з використанням формули для визначення функції чутливості, яка залежить від часу t і заданого значення деякого параметру q_0</p> $u(t, q_0) = \frac{\partial z(t, q_0)}{\partial q}, \quad (2.1)$ <p>де $z(t, q_0)$ - відповідна зміна в системі.</p>

Таблиця 2.3 – Визначені класифікаційні ознаки системи ...*(назва системи)*

Основна ознака	Клас (род) системи	Вид у класі	Підвид у виді
А. Природа об'єктів, з яких складається система			
Б. Взаємозв'язок з навколишнім середовищем			
В. Характер функціонування			
Г. Структура			

Таблиця 2.4 – Основні загальні властивості системи ...*(назва системи)*

Властивість	Обґрунтування
1. Цілісність і структура	Система існує як щось ціле, що допускає його розгляд як сукупність взаємопов'язаних та організованих певним чином окремих складових:.. <i>(перелічити 3...5 складових)</i> .
2. Комунікативність	Наявність зв'язку системи з надсистемою ... <i>(визначити надсистему)</i> .
3. Інваріантність	Отримання однакової реакції системи незалежно від часу на однакові вхідні впливи.. <i>(визначити впливи)</i> .
4. Ієрархічність	Можливість при декомпозиції системи сумісного розгляду її складової <i>(визначити складову)</i> як частини цілого та як цілісної системи.
5. Цілеспрямованість або цілеутворення	Наявність цілі <i>(визначити ціль або функцію системи)</i> .
6. Керованість	Керування системою здійснюється зміною ... <i>(визначити інструменти керування)</i> .
7. Саморозвиток	Внутрішніми протиріччями системи уявляються.. <i>(визначити протиріччя)</i> .
8. Диференціація (обмеження різноманітності)	Обмеження розвитку та різноманіття системи зумовлюються ... <i>(визначити, якими факторами)</i> .
9. Адаптивність, самоорганізація	Пристосування системи до завдання з досягнення цілі зі зменшенням ентропії (міри неупорядкування) забезпечується ... <i>(визначити якими засобами)</i> .
10. Лабільність	Зовнішні і внутрішні збурення компенсуються ... <i>(визначити, якими засобами, факторами)</i> .
11. Стійкість, стабільність	Рівноважний стан системи забезпечується ... <i>(визначити якими засобами, факторами)</i> .
12. Рівновага	Збереження початкового стану системи за відсутності зовнішніх впливів (збурень) забезпечується ... <i>(визначити якими засобами, факторами)</i> .
13. Стаціонарність	Стійкість у часі характеристик процесу... <i>(визначити, якого)</i> забезпечується ... <i>(визначити якими засобами, факторами)</i> ..
14. Принципова невизначеність розвитку	Еволюція системи при прогнозованому напрямку надсистеми спрямована на... <i>(визначити в рамках ділової гри)</i> .
15. Надійність	Здатність зберігати свою найбільш істотну властивість... <i>(визначити, яку)</i> , потребує наявності підсистеми спостереження стану ... <i>(визначити, за яким параметром)</i> .

Закінчення табл. 2.4

16. Спостереженість	Можливість безпосереднього або опосередкованого оцінювання стану системи та її складових забезпечується наявністю... (визначити, чого).
17. Чутливість	Розрахунок рівня впливу варіації параметрів на властивості системи з використанням формули для визначення функції чутливості, яка залежить від часу t і заданого значення деякого параметру q_0 $u(t, q_0) = \frac{\partial z(t, q_0)}{\partial q}$, де $z(t, q_0)$ - відповідна зміна в системі, - представлений нижче.

ПРИКЛАД

Прийнято:

$$- z(t, q_0) = 3 + 2,5 \cdot t + 8 \cdot q_0. \quad (2.2)$$

За формулою (2.1):

- чутливість системи за параметром q_0 :

$$u(t, q_0) = \frac{\partial z(t, q_0)}{\partial q} = \frac{\partial(3 + 2,5 \cdot t + 8 \cdot q_0)}{\partial(q_0)} = 8;$$

- чутливість системи за параметром t

$$u(t, q_0) = \frac{\partial z(t, q_0)}{\partial q} = \frac{\partial(3 + 2,5 \cdot t + 8 \cdot q_0)}{\partial(t)} = 2,5$$

- формулює висновки, оформлює звіт з роботи та захищає його.

Оформлення роботи: згідно з відповідними методичними вказівками, що діють в УДУНТ. Пояснювальна записка, як правило, містить: титульний аркуш; реферат; зміст; короткий опис розробки; висновки та рекомендації; перелік посилань.

Обсяг пояснювальної записки – 6...8 стор.; ф. А4; шрифт 14; 1 інтервал.

Захист роботи здійснюється у ході співбесіди студента з керівником. Наявність заліку враховується при формуванні заключної оцінки з навчальної дисципліни.

Практична робота № 7 (Розрахунково-графічна робота)

«Основи моделювання систем»

Мета: освоєння студентами принципів моделювання систем.

Суть розробки: освоєння студентами деяких підходів щодо моделювання систем на прикладі їх застосування до конкретного об'єкту.

Приклади визначення предметної сфери розробки: будь-яка сфера економічної діяльності або природна система.

Загальні положення

Моделювання (побудова та дослідження моделі) полягає в заміні деякого об'єкта іншим об'єктом, який володіє подібними властивостями [2, 3, 8, 9].

Моделювання в рамках системного аналізу слугує для розв'язування завдань, які не можуть бути розв'язані безпосередньо на об'єкті, наприклад, на перших етапах проектування, при дослідженні, яке

пов'язане з недопустимим ризиком, або занадто вартісне. Одним з аспектів моделювання є спрямованість на досягнення бажаного (оптимального, раціонального) стану системи, який розглядається як деяка модель типу «Як треба».

Модель адекватна об'єкту, якщо результати моделювання можна застосовувати для прогнозування поведінки реального об'єкта з оцінкою рівня виконання вимог повноти та точності, необхідних для досягнення мети моделювання. Ступінь **адекватності** моделі перевіряється експериментальним шляхом на основі визначення **міри адекватності**.

Важливими оцінюваними властивостями моделі також є її скінченність (повнота), складність та наближеність до реальної системи, яка моделюється.

Повнота моделі відображається *достатньою скінченою кількістю відношень* елементів системи.

Наближеність моделі до об'єкту можна оцінювати за різними *аналогіями (подібностями)*.

Оцінка *складності моделі* досліджується при визначенні структури моделі. *Складність* або *спрощеність* моделі може обмежуватись кількістю елементів та/або згідно алгоритмічної концепції, чи можливостями обчислювальної техніки тощо. Але надмірне спрощення моделі може призвести до невідповідності досліджуваному об'єкту.

Наближеність (точність) моделей має більш кількісне вираження, ніж скінченність та складність. Для перевірки наближеності достатньо порівняти властивості, отримані згідно моделі, із властивостями оригіналу.

Основними класифікаційними ознаками моделей є:

- призначення;
- акценти дослідження системи;
- властивості областей зміни параметрів та змінних;
- спосіб опису невизначеності;
- урахування інерційності;
- спосіб задання відношень між параметрами та змінними;
- форма представлення властивостей системи.

Якщо акценти при дослідженні системи зміщуються в напрямку *пізнання внутрішньої побудови системи*, то розглядають *моделі структури*, які відображають сукупність елементів і зв'язків між ними як сталі.

У випадках, коли найважливішим є *встановлення властивостей системи*, які проявляються при взаємодії її із зовнішнім середовищем, розглядають *функціональні моделі* типу «чорної скриньки».

Залежно від властивості областей зміни параметрів та змінних, моделі поділяють на:

- неперервні (аналогові);
- дискретні;
- дискретно-неперервні.

Залежно від опису невизначеності моделі поділяють на:

- детерміновані (не містять невизначеності і є певним ідеалом);
- стохастичні (змінні та параметри представляються випадковими величинами);
- теоретико-множинні (параметри та змінні, представлені у вигляді множин гарантованих чи допустимих значень, або у вигляді нечітких множин з відомими функціями належності).

Залежно від ступеня урахування фактору часу моделі поділяють на:

- статичні (безінерційні), в яких припускається миттєве реагування на будь-яке збурення;
- динамічні (враховують фактор інерції системи при збуреннях у перехідних процесах).

За способом задання відношень між параметрами та змінними моделі поділяються на:

- лінійні, які описують прості системи, що *не володіють властивістю синергізму*;
- нелінійні.

За призначенням моделі поділяють на:

- дескриптивні (від англ. *description* – *опис, визначення*) – це описові моделі;
- нормативні – включають критерії оцінки якості функціонування системи. Такими моделями є оптимізаційні моделі. Вони описують функціонування системи і обов'язково включають дескриптивні моделі.

В залежності від форми представлення властивостей системи моделлю виділяють:

- реальні моделі, які дозволяють дослідження характеристик системи на реальній системі, або на її подібній частині. З реальним моделюванням пов'язані процеси експериментального дослідження системи, натурний та науковий експерименти, комплексні випробовування.
- мисленні (уявлювані) моделі, які відображаються засобами: аналоговими, макетування, знакового відображення.

Знакове моделювання передбачає процес створення логічного об'єкту на заміну реального за допомогою певної системи знаків або символів.

Серед знакових засобів виділяють *математичне моделювання*, яке є результатом і процесом встановлення відповідності між реальною системою і математичним об'єктом.

Математичні моделі поділяються на аналітичні та імітаційні.

Аналітичне математичне моделювання передбачає запис процесів функціонування системи у вигляді співвідношень інтегро-диференціальних та алгебраїчних виразів.

При *імітаційному моделюванні* розробляють моделі або сукупності моделей системи за допомогою алгоритму, який відтворює процес функціонування системи в часі, тобто її динаміку, зокрема, за допомогою комп'ютерної програми.

Змістовна постановка задачі з оптимального управління системою передбачає опис її основних властивостей: перш за все це стосується характеристики *станів* і *динаміки*.

Стан системи відображує її *статику*.

Динаміку (зміну, рух) системи можна розглядати як послідовність (*процес*) переходу з одного стану системи до іншого.

Як мінімум, для адекватного моделювання системи необхідно її описати з трьох точок зору [2]:

- функціональної;
- морфологічної;
- інформаційної.

Функціональна модель відображує функції, які виконує система. При цьому, такий опис відображується *функціоналом ефективності*.

В узагальненому (спрощеному) вигляді це представляють наступним чином.

Якщо позначити: $x = x_i(t)$, де i – кількість сигналів на вході системи; $y = y_j(t)$, де j – кількість сигналів на виході системи; $z = z_w(t)$ де w – кількість станів A -того елементу системи; через f – вигляд функціоналу, який визначає поточні значення внутрішнього стану $z = f(t, x_i(t), z_w(t))$, а через g – вигляд функціоналу, який визначає вихідний сигнал $y = g(t, x_i(t), z_w(t))$, - то узагальнено кожен елемент A системи може бути представлений набором п'яти складових функціональної моделі $\Phi = \varphi(x_i, y_j, z_w, f, g)$.

Морфологічний опис системи повинен дати уявлення про її будову. Якщо позначити: $\{E_i\}$ – множина елементів ті їх властивостей; $\{V_j\}$ – множина зв'язків; G – функціонал структури; K – відображення композиції, тобто способу об'єднання елементів в підсистеми, - то узагальнено морфологічний опис системи M представляється у вигляді:

$$M = \{\{E_i\}, \{V_j\}, G, K\}. \quad (2.3)$$

На практиці морфологічний опис можна здійснити графічно за допомогою *графів*, а також теоретико-множинним способом за допомогою математичних операцій з множинами.

Інформаційний опис системи повинен дати уявлення про організацію системи, її властивості і поведінку. При цьому, одним з ефективних прийомів є моделювання: дослідження системи на імітаційній або математичній моделі.

На додаток до матеріалів, які стосуються *моделювання*, використовують різні взаємопов'язані методи знакового (*семіотичного*) опису систем:

- теоретико-множинний (див. формулу (2.3));
- графічний;
- логічний;
- алгебраїчний;
- статистичний;
- лінгвістичний.

З точки зору системного підходу процеси в елементі системи можуть бути невизначеними: важливими є тільки характеристики входів і виходів. Але для *реального* ефективного управління об'єктом необхідно прогнозувати параметри виходів, управляти ними і організувати належний обернений зв'язок. Для цього потрібно визначати численні взаємопов'язані *процеси* та керувати ними.

Систематичне визначання процесів і, особливо - їх взаємодій та керування ними називають «*процесним підходом*».

Найбільшу проблему в розумінні процесного підходу до управління зумовлює те, що в моделях менеджменту якості (починаючи зі стандартів ISO серії 9000 до моделей «Загального (Тотального, Всеохоплюючого) управління на основі якості – TQM») основна увага віддається *системному підходу*, але по суті, основний акцент робиться на *окремі* бізнес-процеси, що призводить до недостатнього урахування можливостей, потреб та особливостей системи управління.

Основну ідею процесного підходу в трактовці стандартів ISO серії 9000 можна звести до таких положень:

- діяльність організації необхідно представити у вигляді мережі *бізнес-процесів*;
- менеджмент діяльності повинен базуватися на управлінні мережею бізнес-процесів.

Зазвичай, виділяють три категорії бізнес-процесів, різниця між якими є досить умовною:

- *основні*: закупівля, виробництво/послуги, продаж, складська діяльність, **що додають цінність**;
- *управлінські*: планування, визначення повноважень і відповідальності, управління документацією, внутрішній аудит, аналіз функціонування СМЯ;
- *допоміжні*: маркетинг, фінансово-аналітична та облікова діяльність, управління устаткуванням, інформаційне, адміністративно-господарське та юридичне забезпечення.

В рамках системи якості функціональна модель процесів має відповідати ряду вимог, головні з яких згідно з міжнародними стандартами ISO серії 9000 наступні:

- відповідність можливостям управління системою якості організації з урахуванням всіх процесів та елементів, що впливають на якість продукції та процесів;
- відображення процесів, що визначені як обов'язкові. До них відносяться: реалізація відповідальності вищого керівництва в рамках системи якості; менеджмент процесів життєвого циклу продукції; менеджмент ресурсів (допоміжних виробничих процесів); процеси вимірювань, контролю та покращання загальної якості. Також до обов'язкових елементів відноситься документована інформація, що містить

політику, цілі організації у сфері менеджменту якості; щодо відповідальності та повноважень співробітників організації (посадові інструкції) тощо;

- охоплення всіх стадій життєвого циклу продукції, що відносяться до сфери діяльності організації.

Аналогічно ієрархічній побудові системи, в рамках процесного підходу розглядають контекст організації (для системи – це «*оточуюче середовище*» та «*надсистема*»), процеси та підпроцеси (аналогічно «*системі*» і «*підсистемам*»), які є відповідальними за функціонування самої *системи*.

При сумісному системно-процесному аналізі виробничої системи необхідно розв'язувати наступні задачі:

- виділити систему із зовнішнього середовища (передбачає визначення множин вхідних X і вихідних Y процесів у системі, які є істотними з погляду мети її функціонування);
- ідентифікувати систему з визначенням множин її станів Z за допомогою операторів переходу H і виходів C по відомим вхідним X та вихідним Y процесам;
- спрогнозувати майбутні стани та/або вихідні процеси Y по відомим вхідним X процесам з використанням операторів переходу H і виходів C ;
- діагностувати стан системи по спостережуваним вхідним X та вихідним Y процесам;
- змодельовати (відобразити) стан системи в i -тий момент часу $z(t_i) \in Z$ за станом вихідного процесу $y(t_{i-1}) \in Y$, що спостерігався у попередній момент часу $t_{i-1} < t_i$;
- спроектувати елементний стан і структуру системи по заданій множині вхідних X і вихідних Y процесів;
- забезпечити управління системою із визначенням керованих вхідних процесів, що дозволяють перевести систему з певного початкового (при $t = t_0$) стану $z(t_0) \in Z$ у заданий (цільовий) стан $z(t_i) \in Z$.

У загальному випадку виділяють три основні підходи до ідентифікації систем з метою моделювання процесів у них:

- наочне (часто – графічне) представлення системи у зв'язку з процесами в ній;
- фізико-математичний опис явищ, які визначають динаміку процесів;
- експериментальне вивчення шляхом безпосередніх вимірювань, збору та аналізу статистичних даних.

При **наочному представленні системи** часто застосовують деякі так звані «інструменти забезпечення якості», частина з яких описані нижче.

«**Діаграма потоків даних** (англ. - Data Flow Diagram - DFD)» — модель проектування, графічне представлення «потоків» даних в інформаційній системі. Це ієрархічна модель, у якій кожен процес може бути представлений його декомпозицією, тобто у вигляді структурних складових. Текстовий опис діаграми (*нотація*) підтримує відповідну систему (підсистему як структурний компонент системи).

Різновидом Діаграми потоків даних є «*Стрілочна діаграма*», у якій зазвичай графічно відображують порядок і терміни проведення різних етапів певного бізнес-процесу на різних етапах життєвого циклу системи. Для цього найчастіше використовують одну з двох форм: «Діаграма Ганта» (рисунок 2.8,а) і «Мережевий граф (графік)» (рис. 2.8,б).

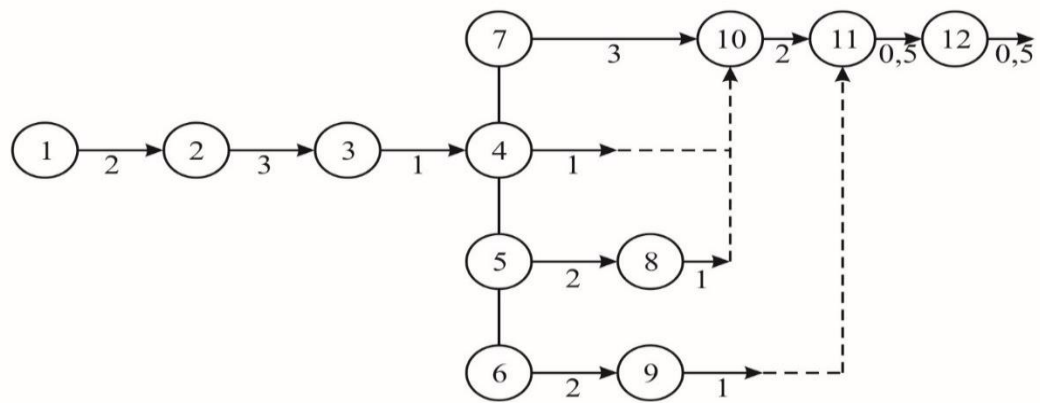
Застосування цього інструменту рекомендується після того, коли виявлені проблеми, що вимагають рішення, визначені необхідні заходи, засоби, терміни та етапи їх здійснення.

Різновидом «Потокової діаграми» можна вважати «**Діаграму процесу здійснення програми**» (англ. - Process Decision Program Chart – PDPC) при застосуванні якої систему бізнес-процесів, як і звичайних процесів візуально зображають за допомогою стандартизованих символів-блоків представлених у таблиці 2.5), що пов'язані між собою стрілками. Останні демонструють напрями потоків ресурсів та взаємозв'язок між бізнес-процесами. В полі символів-блоків розміщують напис, який конкретизує назву/суть процесу, що відображується.

На практиці, при оформленні PDPC найчастіше застосовують тільки три символи з приведених у таблиці 2.5, а саме (рисунок 2.9): овал (для позначення початку і кінця процесу); прямокутник (для позначення дій і операцій); лінії зі стрілками (для вказівки напрямку протікання процесу).

№	Операції (підпроцеси)	Місяці											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Фундамент	→											
2	Остов будівлі			→									
3	Споруда даху						→						
4	Електропроводка							→					
5	Водопровід і опалювання							→	→				
6	Внутрішня обробка стін							→	→				
7	Двері та вікна							→	→	→			
8	Зовнішня обробка будинку									→			
9	Фарбування всередині будинку									→	→		
10	Остаточна внутрішня обробка										→	→	
11	Кінцева перевірка якості												→
12	Здача-приймання будинку												→

a



б

Числа в колах відповідають номерам позицій за варіантом a;
 → – робота або захід (довжина стрілки пропорційна часу);
 ----- – взаємозв'язок між видами роботи, що не займає часу (показує, до початку якої роботи повинна бути завершена попередня робота)



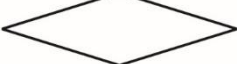




Рисунок 2.8 – Види «стрілочної діаграми» (на прикладі планування процесу і термінів зведення будинку «під ключ» протягом 12 місяців): a – «Діаграма Ганта»; б – «Мережевий граф» [1].

Слід зауважити, що настанови щодо застосування PDPC не дозволяє побудувати однозначний алгоритм дій, оскільки допускає наявність декількох паралельних виходів з одного блока.

Саме тому стандартами ISO серії 9000 з побудови систем якості рекомендується до використання на відміну від таблиці 1 декілька інших перелік символів-блоків (таблиця 2.6) з відповідною інструкцією щодо їх застосування у вигляді блок-схеми (приклад – на рис. 2.10).

Слід врахувати, що при побудові блок-схеми тільки одна стрілка може виходити з блока «Функція» («Дія»). Якщо виходів два або більше, необхідно використовувати блок (блоки) «Ухвалення рішення».

Таблиця 2.5 – Типові символи, вживані при представленні «Діаграми процесу здійснення програми» [1]

№№	Вигляд символу	Значення символу
1		Початок або закінчення процесу
2		Дія, операція (черговий етап процесу)
3		Рішення (розгалуження процесу) за принципом: «так/ні»
4		Інспекція (контроль якості або кількості)
5		Документування інформації (реєстрація даних, наприклад, про якість)
6		Коментар (допомагає сприйняттю «карти процесу», але не є дією/етапом процесу)
7		Лінії зі стрілками (указують напрям розвитку процесу)

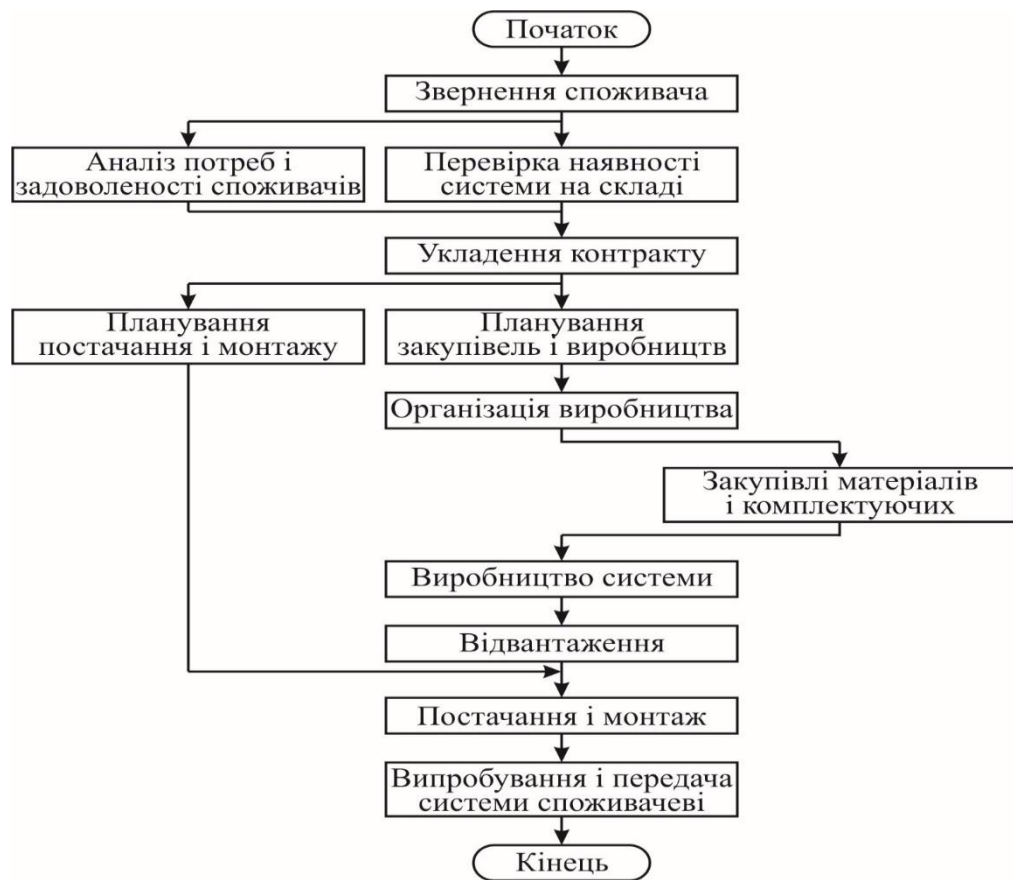
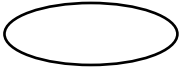

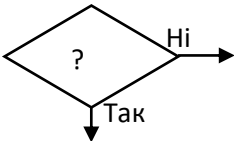



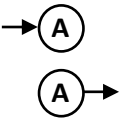



Рисунок 2.9 – Приклад «Діаграми процесу здійснення програми» [1]

Таблиця 2.6 – Символи блок-схеми за ISO серії 9000 [1]

Символ	Що позначає	Приклади, коментар
	«Початок/кінець», «Вхід/вихід»	«Запит пропозицій», «Виконання завдання», «Заказ сировини», «Виконання замовлення» тощо
	Завдання, функція, дія, місце виконання	«Провести збори», «Подзвонити по телефону», «Відкрити коробку», «Реалізувати операцію» тощо
	Ухвалення одного рішення з двох його варіантів	«Прийняти рішення?», «Виконано?..» «Відповідає?..» тощо
	«Документ»	Заповнюється форма або звіт, формулюється робоче завдання, складається документ, протокол зборів, сертифікат якості, робиться запис тощо
	Тінь позначає наявність (необхідність складання) додаткової блок- схеми для даної задачі	У основній задачі є підзадачі, опис яких не приведений через відсутність необхідності, місця або невідповідності міри деталізації у блок-схемі
	«Затримка»	«Очікування обслуговування», «Відстрочення наради», «Очікування постачання матеріалів» тощо
	«Продовження», «Перенесення»	Перехід на іншу сторінку, перехід до іншої частини схеми
	Напрямок руху продукції, послуги, матеріалів або інформації	Визначається напрям або послідовність кроків процесу

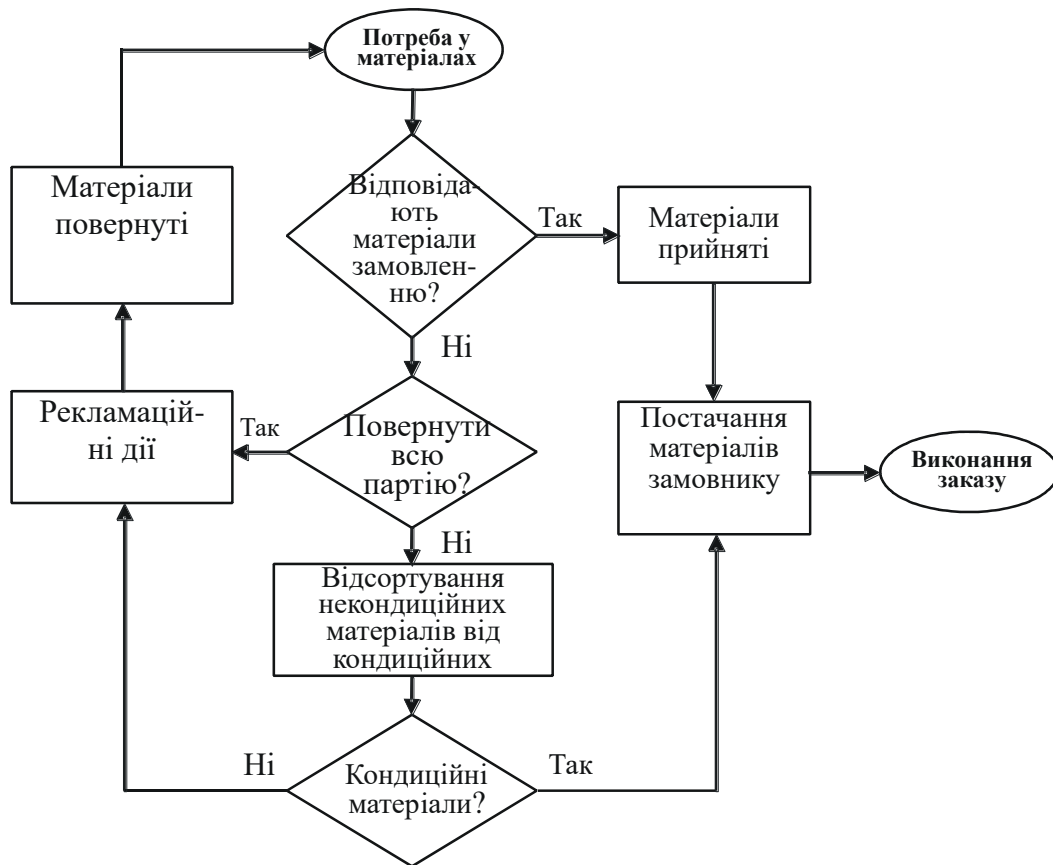


Рисунок 2.10 – Приклад блок-схеми процесу з отримання матеріалів [1]

За необхідністю, поряд з відповідними блоками допускається надавати коментарі та пояснення до них.

При побудові будь-якого виду Діаграми потоків даних важливим стає логічне визначення зв'язків між входами і виходами системи та/або процесу з одночасним відображенням вагомості (сили) цих зв'язків.

Для виявлення та демонстрації таких зв'язків використовують так звані «**Матричні діаграми**» («Таблиці якості», «Матриці зв'язків»), зокрема у вигляді L-карти, T-карти або X-карти (рисунок 2.11). На матриці зіставляють суттєві характеристики системи, які є важливими для оцінювання її якості. Наприклад: $A(a_1, a_2, \dots)$ – надійність з її складовими; $B(b_1, b_2, \dots)$ – швидкодія з її складовими; $C(c_1, c_2, \dots)$ – чутливість з її складовими тощо.

Тут використані наступні позначення:

– А – основні причини проблеми X, що представлені у вигляді компонентів: $(a_1, a_2 \dots, a_n)$;

– В – можливі засоби для усунення наслідків цих причин, які зображені у вигляді елементів, або компонентів: $(b_1, b_2, b_3, \dots, b_n)$ $b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6, b_7$;

– символ, який знаходиться на перетині рядка і стовпця «матричної діаграми», указує не тільки на наявність зв'язку між компонентами, але і на тісноту цього зв'язку, наприклад, Δ – слабкий зв'язок (умовний рівень 1); \circ – середній зв'язок (рівень 3), \bullet – сильний зв'язок (рівень 9).

Одним з різновидів L-карти «Матричної діаграми» є «Таблиця якості», представлена на рисунку 2.12.

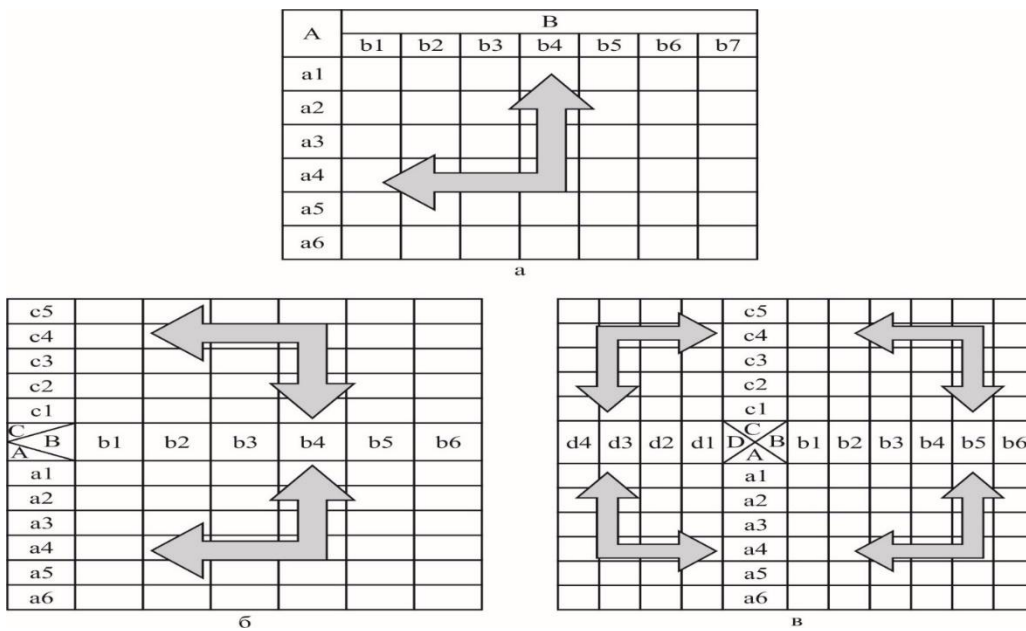


Рисунок 2.11 – Різновиди «матричних діаграм»: а – L-карта; б – Т-карта; в – Х-карта [1]

A \ B	b1	b2	b3	b4	b5	b6	b7
a1		△					
a2						●	
a3			●				
a4						○	
a5		○					
a6							●

Рисунок 2.12 – Приклад відображення «Таблиці якості» [1]

У деяких випадках виникає необхідність у більш докладному відображенні сили (тісноти) зв'язків. Тоді можна, *наприклад*, використовувати наступні символи і умовні вагові коефіцієнти: △ – слабкий зв'язок (умовний рівень 1 з 10); □ – суттєвий зв'язок (рівень 3 з 5); ○ – середній зв'язок (рівень 9 з 10); ● – сильний зв'язок (рівень 16 з 20); ● – дуже сильний зв'язок (рівень 45 з 50) тощо.

Коли зв'язок між чинниками може бути як позитивним, так і негативним, можна рекомендувати для використання представлені нижче символи і вагові коефіцієнти:

- ☺ – сильний позитивний зв'язок (+9 з 10);
- ☺ – середній позитивний зв'язок (+3 з 5);
- △ – слабкий позитивний зв'язок (+1 з 5);

- відсутність зв'язку (0);
- ∇ – слабкий від'ємний зв'язок (-1 з -5);
- ⊖ – середній від'ємний зв'язок (-3 з -5);
- ⊗ – сильний від'ємний зв'язок (-9 з -10) тощо.

На такому документі вказують відомості, які дозволять повністю зрозуміти і однозначно тлумачити отриманий результат. Для цього поряд з матрицею зв'язків вказують: назву, знаходження і основні характеристики об'єкту аналізу; склад команди та її керівника; головні результати роботи; дати початку та закінчення роботи; будь-які інші відомості, що заслуговують на увагу.

Фізико-математичне моделювання системи для ідентифікації промислових (реальних) багатопараметричних (надскладних) систем зазвичай виявляється громіздким і малоефективним.

Експериментальне вивчення системи базується на математичному моделюванні функції, що відображає у векторній формі вихід $\bar{y}(\bar{x})$ системи з наступним визначенням рівнів параметрів на основі експериментальних даних.

Якщо виділити у системі S вихідний процес $y \in Y$ і вектор вимірюваних вхідних процесів $\bar{x} = (x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n)^T$, то оператор виходу системи можна представити у вигляді:

$$y = f(\bar{x}) + \xi, \quad (2.4)$$

де ξ - характеристика, що визначає вплив на вхід системи випадкових (неврахованих) факторів і має щільність ймовірності з розподілом за нормальним законом (законом Гауса – див. нижче), і надалі:

$$y(\bar{x}) = \sum_{i=0}^k \beta_i \cdot x_i, \quad (2.5)$$

де k - загальна кількість вхідних змінних, а коефіцієнти $\beta_0, \beta_1 \dots \beta_k$ формально описують параметри стану системи $z \in Z$.

Така задача може бути розв'язана декількома методами, зокрема **Методом експериментально-статистичного опису** [1, 3, 10]. Такий підхід відноситься до методів **параметричної статистики**.

Метод базується на результатах активного або пасивного експерименту щодо спостереження за поведінкою системи та подальшій обробці результатів.

Результатом такого спостереження стає $1 \leq W \leq n$ реалізацій x_w випадкового параметру X .

При статистичній обробці експериментальних даних ряду спостережень: x_1, x_2, \dots, x_n , які характеризують випадкову величину X , найкращою оцінкою математичного очікування μ стає середнє арифметичне $x_{сер}$ її реалізацій:

$$\mu \approx x_{сер} = \frac{1}{W} \sum_{j=1}^W x_j = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_W}{W}. \quad (2.6)$$

Для характеристики розмаху даних використовують оцінку:

$$R = x_{\max} - x_{\min}, \quad (2.7)$$

а їх відхилення від середнього значення $\mu \approx x_{сер}$ характеризують середнім квадратичним відхиленням σ , найкраща статистична оцінка якого називається «стандартом розподілу» S_w і обчислюється за формулою:

$$\sigma \approx S_w = \sqrt{\frac{1}{(W-1)} \sum_{j=1}^W (x_j - x_{cep})^2} = \sqrt{\frac{(x_1 - x_{cep})^2 + (x_2 - x_{cep})^2 + \dots + (x_W - x_{cep})^2}{W-1}}. \quad (2.8)$$

Як видно з формули (2.8), збільшення кількості W членів експериментальної вибірки супроводжується зменшенням S_w , тобто підвищенням точності результату експерименту.

Часто також користуються величиною дисперсії:

$$D = \sigma^2. \quad (2.9)$$

Величини μ та S_w (або σ) мають розмірність вимірюваного параметру. Дослідники також використовують *безрозмірну* статистичну характеристику – *коефіцієнт варіації* c :

$$c = \frac{S}{x_{cep}} \cdot (100\%). \quad (2.10)$$

Уявність про рівень точності і надійності статистичних даних дають довірчі інтервали для середнього та дисперсії.

На практиці при використанні статистичних критеріїв перевірки піддається деяке припущення щодо властивостей однієї або декількох вибірок даних. Такі припущення називаються *гіпотезами*, а краща з них – *нульовою гіпотезою*.

Нульову гіпотезу перевіряють за допомогою статистичних критеріїв з метою виявлення підстав для її прийняття або відхилення.

Межею між високою або малою вірогідністю служить обраний рівень значущості α , який приймається самим дослідником як 0,05 або 0,01 (іноді – менше).

Для середнього довірчий інтервал розраховують за формулою:

$$\mu - \frac{\sigma}{\sqrt{W}} \cdot t_{\alpha,k} < x_{cep} < \mu + \frac{\sigma}{\sqrt{W}} \cdot t_{\alpha,k}, \quad (2.11)$$

де $\alpha = 0,10 \dots 0,01$ – вірогідність того, що довірчий інтервал не «накриє» істинне значення характеристики X (виходи за цей інтервал зветься «квантілем розподілу»); $k = W - 1$ – кількість ступенів свободи; $t_{\alpha,k}$ – статистика (табличний критерій) розподілу Стьюдента, який представлений у таблиці 2.7.

Для дисперсії аналогічним чином довірчий інтервал розраховують за формулою:

$$S_w^2 \cdot \frac{W-1}{\chi_{p1}^2} < D < S_w^2 \cdot \frac{W-1}{\chi_{p2}^2}, \quad (2.12)$$

де $p_1 = \alpha/2$; $p_2 = 1 - \alpha/2$ – довірна вірогідність; χ_{p1} і χ_{p2} – статистики (табличні критерії) розподілу Пірсона), які відображені у таблиці 2.8.

Для з'ясування питання про доцільність відкидання певного значення одиничного результату спостережень зручно їх розташувати у вигляді ряду за принципом послідовного збільшення.

Для цих даних розраховують вибіркоче середнє μ за формулою (13), стандарт розподілу S_w за формулою (15) і для першого та останнього членів ряду визначають статистичні характеристики:

$$t_1 = (\mu - x_1) / S_w; \quad t_n = (x_n - \mu) / S_w. \quad (2.13)$$

Далі для обраного рівня значущості α об'єму вибірки n за спеціальними таблицями з визначення критерію Стьюдента визначають критичне значення $t_{\alpha,n}$, з яким порівнюють t_1 і t_n .

Таблиця 2.7 – Значення t -критерію Стьюдента [5]

Число ступенів свободи, k	Рівень значимості, p			
	0,10	0,05	0,01	0,001
1	6,31	12,70	63,70	637,00
2	2,92	4,30	9,92	31,60
3	2,35	3,18	5,84	12,90
4	2,13	2,78	4,60	8,61
5	2,01	2,57	4,03	6,86
6	1,94	2,45	3,71	5,96
7	1,89	2,36	3,50	5,40
8	1,86	2,31	3,36	5,04
9	1,83	2,26	3,25	4,78
10	1,81	2,23	3,17	4,59
11	1,80	2,20	3,11	4,44
12	1,78	2,18	3,05	4,32
13	1,77	2,16	3,01	4,22
14	1,76	2,14	2,98	4,14
15	1,75	2,13	2,95	4,07
16	1,75	2,12	2,92	4,01
17	1,74	2,11	2,90	3,96
18	1,73	2,10	2,88	3,92
19	1,73	2,09	2,86	3,88
20	1,73	2,09	2,85	3,85
21	1,72	2,08	2,83	3,82
22	1,72	2,07	2,82	3,79
23	1,71	2,07	2,81	3,77
24	1,71	2,06	2,80	3,74
25	1,71	2,06	2,79	3,72
26	1,71	2,06	2,78	3,71
27	1,71	2,05	2,77	3,69
28	1,70	2,05	2,76	3,66
29	1,70	2,05	2,76	3,66
30	1,70	2,04	2,75	3,65
40	1,68	2,02	2,70	3,55
60	1,67	2,00	2,66	3,46
120	1,66	1,98	2,62	3,37
∞	1,64	1,96	2,58	3,29

Якщо виконуються умови $t_1 \leq t_{\alpha, n}$ та/або $t_n \leq t_{\alpha, n}$, то відповідні члени x_w ряду слід залишити для розгляду. В протилежному випадку відповідне (відповідні) значення x слід вилучити, а вибірку з її статистичними характеристиками належним чином скоригувати.

При розгляді гіпотези про рівність середніх двох вибірок, для яких підраховані значення μ_1, S_{w1} та μ_2, S_{w2} обчислюють об'єднану дисперсію:

Таблиця 2.8 – Значення χ^2 -критерію [5]

Число ступенів свободи f	Рівень значимості					
	0,01	0,025	0,05	0,95	0,975	0,99
1	6,6	5,0	3,8	0,0039	0,00098	0,00016
2	9,2	7,4	6,0	0,103	0,051	0,020
3	11,3	9,4	7,8	0,352	0,216	0,115
4	13,3	11,1	9,5	0,711	0,484	0,297
5	15,1	12,8	11,1	1,15	0,831	0,554
6	16,8	14,4	12,6	1,64	1,24	0,872
7	18,5	16,0	14,1	2,17	1,69	1,24
8	20,1	17,5	15,5	2,73	2,18	1,65
9	21,7	19,0	16,9	3,33	2,70	2,09
10	23,2	20,5	18,3	3,94	3,25	2,56
11	24,7	21,9	19,7	4,57	3,82	3,05
12	26,2	23,3	21,0	5,23	4,40	3,57
13	27,7	24,7	22,4	5,89	5,01	4,11
14	29,1	26,1	23,7	6,57	5,63	4,66
15	30,6	27,5	25,0	7,26	6,26	5,23
16	32,0	28,8	26,3	7,96	6,91	5,81
17	33,4	30,2	27,6	8,67	7,56	6,41
18	34,8	31,5	28,9	9,39	8,23	7,01
19	36,2	32,9	30,1	10,1	8,91	7,63
20	37,6	34,2	31,4	10,9	9,59	8,26
21	38,9	35,5	32,7	11,6	10,3	8,90
22	40,3	36,8	33,9	12,3	11,0	9,54
23	41,6	38,1	35,2	13,1	11,7	10,2
24	43,0	39,4	36,4	13,8	12,4	10,9
25	44,3	40,6	37,7	14,6	13,1	11,5
26	45,6	41,9	38,9	15,4	13,8	12,2
27	47,0	43,2	40,1	16,2	14,6	12,9
28	48,3	44,5	41,3	16,9	15,3	13,6
29	49,6	45,7	42,6	17,7	16,0	14,3
30	50,9	47,0	43,8	18,5	16,8	15,0

Таблиця 2.12 – Значення критерію Фішера [7]

Критерій Фішера F

Рівень значимості $\alpha = 0,01$								
$\begin{matrix} \backslash f_1 \\ f_2 \backslash \end{matrix}$	4	7	10	16	24	40	100	∞
1	5625,0	5928,0	6056,0	6169,0	6234,0	6286,0	6334,0	6366,0
2	99,25	99,34	99,40	99,44	99,46	99,48	99,49	99,50
3	28,71	27,67	27,23	26,83	26,60	26,41	26,23	26,12
4	15,98	14,98	14,54	14,15	13,93	13,74	13,57	13,46
5	11,39	10,45	10,05	9,68	9,47	9,29	9,13	9,02
6	9,15	8,26	7,87	7,52	7,31	7,14	6,99	6,88
7	7,85	7,00	6,62	6,27	6,07	5,90	5,75	5,65
8	7,01	6,19	5,82	5,48	5,28	5,11	4,96	4,86
9	6,42	5,62	5,26	4,92	4,73	4,56	4,41	4,31
10	5,99	5,21	4,85	4,52	4,33	4,17	4,01	3,91
12	5,41	4,65	4,30	3,98	3,78	3,61	3,46	3,36
14	5,03	4,28	3,94	3,62	3,43	3,26	3,11	3,00
16	4,77	4,03	3,69	3,37	3,18	3,01	2,86	2,75
18	4,58	3,85	3,51	3,19	3,00	2,83	2,68	2,57
Рівень значимості $\alpha = 0,05$								
$\begin{matrix} \backslash f_1 \\ f_2 \backslash \end{matrix}$	4	7	10	16	24	40	100	∞
1	225,0	237,0	242,0	246,0	249,0	251,0	253,0	254,0
2	19,25	19,36	19,39	19,43	19,45	19,47	19,49	19,50
3	9,12	8,88	8,78	8,69	8,64	8,60	8,56	8,53
4	6,39	6,09	5,96	5,84	5,77	5,71	5,66	5,63
5	5,19	4,88	4,74	4,60	4,53	4,46	4,40	4,36
6	4,53	4,21	4,06	3,92	3,84	3,77	3,71	3,67
7	4,12	3,79	3,63	3,49	3,41	3,34	3,28	3,23
8	3,84	3,50	3,34	3,20	3,12	3,05	2,98	2,93
9	3,63	3,29	3,13	2,98	2,90	2,82	2,76	2,71
10	3,48	3,14	2,97	2,82	2,74	2,67	2,59	2,54
12	3,26	2,92	2,76	2,60	2,50	2,42	2,35	2,30
14	3,11	2,77	2,60	2,44	2,35	2,27	2,19	2,13
16	3,01	2,66	2,49	2,33	2,24	2,16	2,07	2,01
18	2,93	2,58	2,41	2,25	2,15	2,07	1,98	1,92

Примітка: f_1 – відноситься до більшої дисперсії, f_2 – до меншої.

$$S_{\Sigma}^2 = \frac{(n_1 - 1) \cdot S_{w1}^2 + (n_2 - 1) \cdot S_{w2}^2}{n_1 + n_2 - 2} \quad (2.14)$$

і аналог критерію Стьюдента:

$$t_{\Sigma} = \frac{|\mu_1 - \mu_2|}{S_{\Sigma} \cdot \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} \quad (2.15)$$

Останню величину зіставляють з критичним табличним значенням критерію Стьюдента $t_{\alpha, k, xp}$ для обраного рівня α та $k = n_1 + n_2 - 2$.

Якщо виконується нерівність $t_{\Sigma} \leq t_{\alpha, k, xp}$, то вірною є нульова гіпотеза про рівність середніх вибірок, що розглянуті. У такому разі розглянуті вибірки мають однакове середнє значення випадкових реалізацій і відносяться до однієї генеральної сукупності даних.

Аналогічним чином можна оцінити нульову гіпотезу з точки зору співпадіння дисперсій двох вибірок, для яких $S_{W1} > S_{W2}$.

Для цього знаходять статистичний критерій Фішера (таблиця 2.9) [7]:

$$F = S_{W1}^2 / S_{W2}^2, \quad (2.16)$$

який зіставляють з критичним табличним значенням критерію Фішера $F_{(1-\alpha/2)kp}$ для обраного рівня α , що дорівнює 0,05 або 0,01, при кількості ступенів свободи: $k_1 = n_1 - 1$; $k_2 = n_2 - 1$.

Якщо $F \leq F_{(1-\alpha/2)kp}$, то вірною є нульова гіпотеза про рівність дисперсій цих двох вибірок. Емпіричні дані при дослідженні об'єкту можна представити у вигляді набору частот, з якою реалізації x_w випадкового параметру X попадають у певний визначений інтервал діапазону існування останнього. Така частота асоціюється з ймовірністю появи x_w .

Сукупність усіх таких даних дозволяє побудувати *гістограму* – стовпчастий графік, розміщений у діапазоні існування (розгляду) X , розділений на 7...20 рівних піддіапазонів. На кожному такому відрізку будують відповідний прямокутник з висотою, яка представляє собою частоту $p(x_w)$ потрапляння туди відповідної кількості W реалізацій x_w :

$$p(x_w) \approx W / n. \quad (2.17)$$

За видом гістограми можна судити про закон розподілу ймовірності випадкової величини.

Якщо розподіл ймовірності величини X залежить тільки від довжини (ширини) піддіапазонів діапазону його існування, відповідний закон розподілу визначають як *рівномірний* (рисунк 2.13, а).

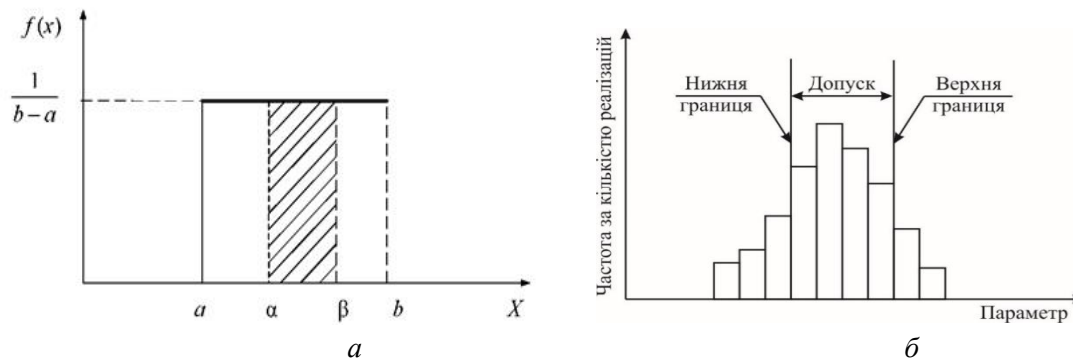


Рисунок 2.13 – Вигляд гістограм, що відповідають законам розподілу ймовірності: рівномірному (а) та нормальному (б) [1]

Прикладом прояву такого закону може бути визначена ймовірність появи певної карти (наприклад, туза пік) з колоди при послідовних діях з витягування карт без їх наступного вилучення з колоди (без зміни початкової кількості карт у колоді).

В інших випадках форма гістограми може наближатися до симетричного чи несиметричного трикутника, мати «вершину», яка зміщена до більшої чи меншої границі, мати більше однієї «вершини» тощо.

В теорії ймовірності доводиться, що при впливі на об'єкт багатьох випадкових факторів, незалежно від законів розподілу їх ймовірностей, сумарний випадковий вплив зумовлює прояв так званого закону нормального розподілу (ЗНР) ймовірності (закону Гауса) тим сильніше, чим більше є випадкових впливів на об'єкт. Відповідна гістограма має приблизний вид, що показаний на рис. 2.13, б) [1].

Вважається, що апріорі випадкові впливи на систему, зокрема, величина ξ у формулі (2.4) підкоряються НЗР.

Для цього закону щільність (розподіл) ймовірності $p(x)$ випадкової величини x_j виражається функцією:

$$p(x_w) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x_w - \mu)^2}{2\sigma^2}}, \quad (2.18)$$

залежною від двох параметрів: μ – математичного очікування, яке можна оцінити за формулою (2.6) та σ – середнього квадратичного відхилення, яке можна оцінити за формулою (2.8), а графік відповідної функції має вигляд, як на рисунку 2.14.

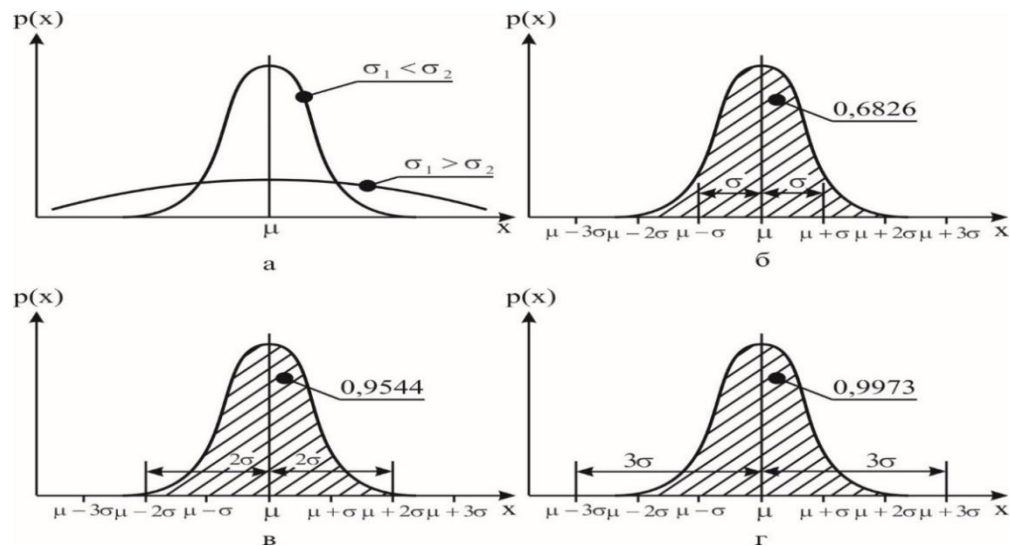


Рисунок 2.14 – Графічне представлення нормального закону розподілу випадкової величини (пояснення позицій – у тексті) [1]

Об'єктивними властивостями НЗР є наступні:

– незалежно від значення параметра σ площа під кривою, що є функцією (2.18), дорівнює одиниці (тобто сумарна ймовірність появи реалізацій x_w випадкового параметру X у всьому діапазоні його існування дорівнює 1,0, або 100%);

– відображена куполоподібна крива має дві симетричні точки перегину, відстань від яких по горизонталі до вертикалі, проведеної через математичне очікування $x = \mu$, дорівнює

середньоквадратичному відхиленню σ . Площа криволінійної трапеції, що розміщена під кривою між ординатами $x = \mu - \sigma$ та $x = \mu + \sigma$ дорівнює 0,6826 (див. рис. 2.14,б). Це означає, що сумарна ймовірність $p_{\Sigma 1}$ того, що випадкова величина x , яка розподілена у відповідності до НЗР і знаходиться в інтервалі $(\mu - \sigma < x < \mu + \sigma)$, дорівнює $p_{\Sigma 1} = 0,6826$;

– аналогічно, сумарна ймовірність $p_{\Sigma 2}$ того, що випадкова величина x , яка розподілена у відповідності до НЗР і знаходиться в інтервалі $(\mu - 2\sigma < x < \mu + 2\sigma)$, дорівнює 0,9544 (див. рис. 2.14,в);

– ймовірність $p_{\Sigma 3}$ того, що випадкова величина x , яка розподілена у відповідності до НЗР і знаходиться в інтервалі $(\mu - 3\sigma < x < \mu + 3\sigma)$, дорівнює 0,9973 (див. рис. 2.14,г);

– асиметрія та ексцес (див. далі) дорівнюють нулю для НЗР, центрованого відносно μ .

За спеціальними таблицями, для певного закону розподілу та кількості реалізацій, вибираючи квантиль (тобто значення ймовірності за межами допуску на величину, що досліджується), можна визначити відповідну ймовірність $p(x_w)$ попадання x_w у певний довірчий інтервал.

Розрахунки свідчать, що попадання випадкової величини x , розподіленої за НЗР, у часто використовувані певні інтервали забезпечується з ймовірністю p («вірою») на рівні:

– віра $(\mu - 1,96\sigma < x < \mu + 1,96\sigma) = 0,95$;

– віра $(\mu - 2,57\sigma < x < \mu + 2,57\sigma) = 0,99$;

– віра $(\mu - 3,291\sigma < x < \mu + 3,291\sigma) = 0,999$.

Ці дані можуть бути використані для попередньої ідентифікації *грубих похибок* («промахів»).

Для технічних вимірювань, які не потребують високої надійності, наприклад, для масової продукції, визначають, що перший більш-менш прийнятний рівень розміщення в полі допуску отримуваних результатів складає приблизно $\pm 2\sigma$ з ймовірністю біля $p = 0,95$, а для продукції більш відповідального призначення – приблизно $\pm 3\sigma$ з ймовірністю біля $p = 0,997$, тобто 99,7%.

Для продукції особливо відповідального призначення (наприклад, для виробів космічної техніки, парашутних систем і т.і.) забезпечують такі значення σ , щоб у полі допуску розміщувалось $\pm 6\sigma$ і більше.

Тоді грубою похибкою приблизно можна вважати результат вимірювання, що виходить за межі відповідного інтервалу, виміряного у значеннях σ . Такі результати можна відкинути, повторно виміряти шукану величину і повторити необхідні дії та обчислення.

Однак, у ряді випадків виключення таких результатів може викликати відчутне спотворення уявлень про розсіювання результатів вимірювань. У зв'язку з цим, не рекомендується відразу і необдуманно відкидали результати, що різко відрізняються, і слід доповнювати їх результатами повторних вимірів.

Якщо при проведенні вимірювань з'ясується, що результат окремого спостереження сильно відрізняється від інших отриманих результатів, слід встановити причини такого відхилення.

Більш точна оцінка грубої похибки може бути проведена за допомогою статистичних критеріїв Стьюдента, Фішера (див. вище) та ін.

Однак апріорна переконаність в «нормальності» закону розподілу ймовірності випадкової похибки не завжди узгоджується з практикою.

Взагалі, відповідними характеристиками закону розподілу ймовірності за даними аналізу щодо *симетричності* гістограми є асиметрія A , а *форми* – ексцес E .

Для центрованого відносно μ НЗР значення A та E мають дорівнювати нулю. Для спрощеної оцінки відповідності статистичного набору даних характеристикам НЗР користуються формулами:

$$A = \frac{1}{n \cdot S_W^3} \cdot \sum_{W=1}^n (x_W - x_{cep})^3 ; \quad (2.19)$$

$$E = \frac{1}{n \cdot S_W^4} \cdot \sum_{W=1}^n (x_W - x_{cep})^4 - 3. \quad (2.20)$$

Порядок виконання роботи студентом (повністю або частково – за рішенням викладача).

1. Обирає та узгоджує з викладачем предметну галузь та систему, на прикладі якої будуть визначатися аспекти моделювання.
2. Наводить основні визначення та загальні класифікаційні ознаки моделей.
3. Для обраної системи (в рамках ділової гри):
 - визначає межі системи з ідентифікацією 3...4 входів X_j (наприклад, x_1 - «маса»; x_2 - «час»; x_3 - «вартість» тощо) та 2...3 виходів Y_i (наприклад, y_1 - «продуктивність»; y_2 - «комплексний показник якості» тощо);
 - характеризує надсистему (наприклад, «виробничий процес»);
 - визначає складові технології, по суті - підсистеми (наприклад, проектування; виготовлення «дослідного» зразка; підготовка виробництва; виробництво серійної продукції; збут, супроводження тощо);
 - визначає зв'язок підсистем (їх входи і виходи);
 - користуючись типовими блоками з таблиць 2.5 та 2.6 будує і представляє Потокову діаграму та Блок-схему для обраної системи (процесу);
 - аналогічно рис. 2.8 будує і представляє Діаграму Ганта та відповідний граф.
4. Для обраних станів системи (x_1, x_2, \dots, x_j та y_1, y_2, \dots, y_i) аналогічно рис. 2.11 будує L - карту зв'язку входів X_j та виходів Y_i .
5. Генерує (придумує за прикладом таблиці 2.10 і **відмінні від прикладу!**) дві вибірки випадкових даних X_1 та X_2 , що складаються з 10...15 умовних реалізацій X_{j1} та X_{j2} , які мають близькі значення середнього.

Таблиця 2.10 – Приклад умовного переліку реалізацій двох вибірок

X_{j1}	3	4	3	6	4	7	8	6	11	6
X_{j2}	2	2	4	5	4	6	8	15	6	4

6. Переробляє дані з таблиці 2.10 в послідовність реалізацій за їх збільшенням, за прикладом у таблиці 2.11.

Таблиця 2.11 – Умовний перелік реалізацій з табл. 2.9 за їх збільшенням для обох вибірок

X_{j1}	3	3	4	4	6	6	6	7	8	11
X_{j2}	2	2	4	4	4	5	6	6	8	15

7. Визначає статистичні характеристики визначених вибірок даних, виконуючи для них наступні дії:

- розраховує середні значення за формулою (2.6) та стандарти відхилень за формулою (2.8) та перевіряє вибірки на наявність «випадів» з використанням формули (2.13). Для прикладу представлено у табл. 2.10 це дає: $x_{1сер} = 5,8$, та $x_{2сер} = 5,6$; $S_1 = 2,486$ та $S_2 = 3,670$; для X_{j1} : $t_{1.1} = 1,126$; $t_{1.10} = 2,092$; згідно з даними табл. 2.7 при $\alpha = 0,05$ і кількості ступенів свободи $n = 10$ значення $t_{кр} = 2,23$; в результаті $t_{1.1} < t_{кр}$. Це зумовлює висновок про виконання нуль-гіпотези, і необхідність перший залишити першої вибірки член $x_{1.1}$ для подальшого розгляду. Аналогічно для останнього члену першого ряду $x_{1.10}$ при тому ж $t_{кр} = 2,23$ також виконується нерівність $t_{1.10} < t_{кр}$, і цей член також повинен залишитися для подальшого розгляду. Аналогічні розрахунки для другої вибірки X_{j2} з табл. 2.9 дали: $t_{2.1} = 0,981$; $t_{2.10} = 2,561$; згідно з даними табл. 2.7 при $\alpha = 0,05$ і кількості ступенів свободи $n = 10$ значення $t_{кр} = 2,23$. В результаті $t_{2.1} < t_{кр}$, і перший член $t_{2.1}$ має залишитись для подальшого аналізу. Для $t_{2.10} > t_{кр}$, що потребує вилучення $t_{2.10}$ з розгляду.

В наслідок цього замість даних у таблиці 2.10 отримуємо скоригований перелік реалізацій другої вибірки (таблиця 2.12), що зумовлює отримання нових значень $x_{2сер} = 4,56$ та $S_2 = 1,94$. Наступний цикл перевірки другої вибірки даних показав, що всі її члени мають бути залишеними для подальшого аналізу;

- з урахуванням даних табл. 2.12 за формулою (2.9) розраховує дисперсії (у даному прикладі $D_1 = 6,18$; $D_2 = 3,76$); за формулою (2.10) – коефіцієнти варіації (у даному прикладі $c_1 = 0,402$; $c_2 = 0,425$); за формулою (2.11) – довірчі інтервали (у даному прикладі $4,03 < x_{1сер} < 7,57$ та $3,91 < x_{2сер} < 5,21$ відповідно);

Таблиця 2.12 – Умовний перелік реалізацій двох вибірок після вилучення «випаду»

X_{j1}	3	4	3	6	4	7	8	6	11	6
X_{j2}	2	2	4	5	4	6	8	6	4	-

- для $\alpha = 0,05$ за даними табл. 2.8 при $p_1 = \alpha/2$; $p_2 = 1 - \alpha/2$ визначає значення χ^2 -критерію (для даного прикладу для першої вибірки $\chi_{p1}^2 = 20,5$, $\chi_{p2}^2 = 3,25$; для другої вибірки $\chi_{p1}^2 = 19,0$, $\chi_{p2}^2 = 2,70$);

- визначає за формулою (2.12) довірчий інтервал для дисперсії (у даному прикладі для першої вибірки $2,71 < D_1 < 17,06$, а для другої $1,58 < D_1 < 11,14$);

- будує гістограми за даними обох вибірок після вилучення випадів.

8. Перевіряє вибірки після вилучення випадів (за прикладом, що представлені у таблиці 2.11) на відповідність нуль-гіпотезі щодо їх приналежності до однієї генеральної сукупності, виконуючи для цього наступні дії:

- обчислює об'єднану дисперсію за формулою (2.14). У даному прикладі після підстановки належних результатів попередніх розрахунків $S_{\Sigma}^2 = 5,71$;

- визначає за формулою (2.15) статистичний параметр t_{Σ} (у даному прикладі $t_{\Sigma} = 0,473$);

- визначає за даними табл. 2.7 критичне значення критерію Стьюдента (у даному прикладі для $\alpha = 0,05$ при сумарному ступеню свободи $k = n_1 + n_2 - 2 = 10 + 9 - 2 = 17$ $t_{кр} = 2,11$);

- порівнює t_{Σ} з $t_{кр}$ (у даному прикладі $t_{\Sigma} < t_{кр}$, що свідчить про виконання нуль-гіпотези і приналежності обох вибірок до однієї генеральної сукупності);
- буде об'єднану гістограму і за її виглядом оцінює, чи відповідає її зовнішній вигляд закону нормального розподілення ймовірності.

9. Формулює висновки, оформлює звіт з роботи та захищає його.

Оформлення роботи: згідно з відповідними методичними вказівками, що діють в УДУНТ. Пояснювальна записка, як правило, містить: титульний аркуш; реферат; зміст; короткий опис розробки; висновки та рекомендації; перелік посилань.

Обсяг пояснювальної записки – 10...12 стор.; ф. А4; шрифт 14; 1 інтервал.

Захист роботи здійснюється у ході співбесіди студента з керівником. Наявність заліку враховується при формуванні заключної оцінки з навчальної дисципліни.

Практичної роботи № 8

«Визначення характеристик зв'язків факторів при аналізі систем»

Мета: освоєння студентами принципів моделювання систем.

Суть розробки: освоєння студентами підходів щодо визначення характеристик зв'язків суттєвих випадкових факторів при моделюванні систем на прикладі розгляду конкретного об'єкту.

Приклади визначення предметної сфери розробки: будь-яка сфера економічної діяльності або природна система.

Загальні положення (на додачу до відповідних матеріалів, що представлені в Практичній роботі № 7)

Для ефективного управління системою з безлічі факторів, які визначають її властивості і процеси в ній, необхідно вибирати визначальні.

Ці дії можуть виконуватись за двома напрямками [1, 2, 4, 8]:

- із застосуванням методів щодо виявлення таких факторів. Сюди відносяться методи кореляційного та дисперсійного аналізів;
- методами, які пов'язані з побудовою математичних моделей.

Можна вважати, що ВСІ діючі фактори і реакція системи на їх вплив мають ознаки випадковості через інші, невраховані впливи. Це зумовлює певні особливості при забезпеченні раціонального управління системою.

Кореляційний аналіз - метод обробки статистичних даних, за допомогою якого *вимірюються характер і тіснота зв'язку між двома або більше змінними*.

Кореляційний аналіз пов'язаний з регресійним аналізом (тому часто використовують узагальнюючий термін: «кореляційно-регресійний аналіз»).

За допомогою кореляційного аналізу визначають доцільність включення тих чи інших факторів у рівняння множинної *регресії*, а також оцінюють отримане рівняння регресії на відповідність виявленим зв'язкам, використовуючи *коефіцієнт детермінації*.

Кореляційну залежність між факторами можна представити різними способами.

Зокрема, наочно кореляційна залежність може бути представлена **Діаграмою розкиду (Діаграмою розсіювання – Scatter diagram)**. Така *кореляційна діаграма* будується як графік *зіставлення* (не залежності!!) двох *випадкових* параметрів, причинно-наслідковий зв'язок між якими не виражений або виражений неявно (рисунок 2.13).

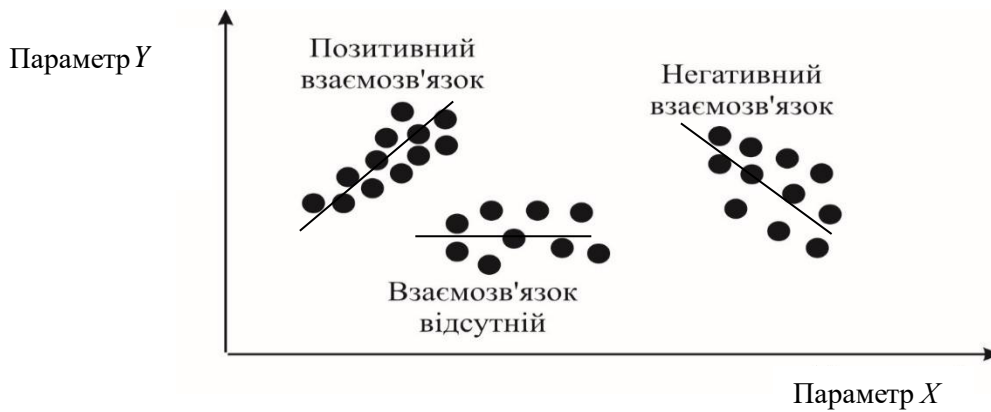


Рисунок 2.13 – Приклади відображення кореляційного зв'язку трендом на «Діаграмі розкиду (Діаграмі розсіювання)» [1]

Для ідентифікації наявності такого зв'язку неістотними є природа параметрів, наявність *явної функціональної* залежності між ними, строкові рамки тощо. Якщо такий взаємозв'язок існує, то він виявляється в *закономірній поведінці тренду* – середньої лінії в полі зіставлення координат точок за значеннями Параметра X та Параметра Y (див. рис. 2.13) при наявності підстав для їх зіставлення (наприклад, одночасної появи відповідних реалізацій). Ці параметри умовно можна маркувати як $X = x_1, x_1, \dots, x_n$ та $Y = y_1, y_2, \dots, y_k$, розуміючи, що зв'язок між ним *не обов'язково є функціональною залежністю*. При цьому за поведінкою тренду в полі розкиду точок можна робити висновок про наявність певного (*позитивного* або *негативного*) взаємозв'язку, або про його *відсутність*. Відповідно, у подібних випадках говорять про «позитивну кореляцію», «негативну кореляцію» або про «відсутність кореляції».

Окрім сказаного, кореляційна залежність між ознаками X та Y може бути лінійною або нелінійною і характеризується *коефіцієнтом кореляції* r для лінійних зв'язків або іншими параметрами – для нелінійних.

Розрахунок коефіцієнту кореляції проводиться за формулою:

$$r = \frac{1}{S_X \cdot S_Y \cdot (n-1)} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - x_{\text{сеп}}) \cdot (y_j - y_{\text{сеп}}), \quad (2.21)$$

де S_X, S_Y - стандарти розподілу реалізацій випадкових величин X та Y , які зіставляються і можуть бути визначені згідно з формулою (2.8); n - кількість відповідних пар реалізацій.

Значення r знаходяться у межах від (-1 до +1). Знак «+» відповідає позитивному зв'язку, а «-» - від'ємному. Вважають, що при $|r|=1,0$ між X та Y є функціональний зв'язок; при $|r| \leq 0,3$ - зв'язок слабкий; при $|r|=0,4 \dots 0,6$ - середній; при $|r| \geq 0,7$ - сильний.

Для більш строгої перевірки нуль-гіпотези про наявність взаємозв'язку між X та Y обчислюють статистичну величину (аналог критерію Стьюдента):

$$t = \frac{r}{\sqrt{1-r^2}} \cdot \sqrt{n-2}, \quad (2.22)$$

яку порівнюють з табличним значенням критерію Стьюдента $t_{\alpha,k}$ (див. табл. 2.7) для обраного рівня коефіцієнту значущості α та кількості ступенів свободи $k = n - 2$.

Якщо $t \geq t_{\alpha,k}$ вважають, що нуль-гіпотеза виправдана, і взаємозв'язок між величинами X та Y існує.

Але цей зв'язок не обов'язково повинен мати причинно-наслідковий характер, оскільки коефіцієнти кореляції встановлюють лише статистичні взаємозв'язки. У той же час, відсутність кореляції між двома величинами ще не означає, що між ними немає ніякого зв'язку. Зокрема, залежність може мати складний нелінійний характер, який лінійна кореляція не виявляє.

Важливою характеристикою спільного розподілу двох випадкових величин є *коваріація* (або *кореляційний момент*). Коваріація є спільним центральним моментом другого порядку і визначається як математичне очікування добутку відхилень випадкових величин від середнього значення. Тобто це є деяким аналогом спільного стандарту розподілу ймовірності наявності зв'язку:

$$\text{cov}(X, Y) = D_{\text{cov}} = \frac{1}{n \cdot k} \cdot \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^k (x_j - x_{\text{сеп}}) \cdot (y_i - y_{\text{сеп}}). \quad (2.23)$$

Застосування кореляційного аналізу можливо за наявності ряду передумов, зокрема, достатня кількість спостережень: вважається, що їх кількість повинна не менше, ніж в 5...10 разів перевищувати кількість факторів. Однак, якщо число спостережень перевищує кількість факторів в десятки разів, в дію вступає закон великих чисел, який обумовлює взаємне погашення випадкових відхилень.

Для оцінки *функціонального зв'язку* між випадковими *змінними*, що представляють функції відгуку та незалежних факторів, слід визначити *кореляційну функцію*.

Дисперсійний аналіз - метод в математичній статистиці, спрямований на пошук взаємозалежностей в експериментальних даних шляхом дослідження значущості відмінностей в середніх значеннях.

Суть дисперсійного аналізу зводиться до вивчення впливу однієї або декількох *незалежних (вхідних) змінних*, зазвичай іменованих *факторами*, на *залежну (вихідну) змінну*. Одночасно дисперсійний аналіз дає можливість визначити силу взаємозв'язку елементів та якість вибірки, яка одержана в ході експерименту. Багатофакторний аналіз дозволяє перевірити *наявність впливу* декількох факторів на залежну змінну.

Незалежні змінні відображають *групову приналежність* і можуть мати два або більше *рівнів*.

Рівні, які відповідають незалежним вибіркам об'єктів, називаються *міжгруповими*, а відповідні залежним вибіркам – *внутрішньогруповими*.

Залежні змінні (результати спостережень), які підлягають дисперсійному аналізу, також можуть об'єднуватись у групи з урахуванням характеру та походження кожного незалежного фактору (наприклад, за спрямованістю його дії, за способом впливу та/або реалізації тощо).

У *залежності від типу і кількості змінних*, розрізняють:

- однофакторний і багатофакторний види дисперсійного аналізу (при розгляді однієї або декількох *незалежних змінних* відповідно);
- одновимірний і багатовимірний види дисперсійного аналізу (при наявності *однієї* або *декількох залежних змінних* відповідно).

Найпростішим випадком дисперсійного аналізу є *одновимірний однофакторний* аналіз для двох або декількох незалежних груп експериментальних даних, коли відповідні групи об'єднані за однією ознакою.

Також виділяють дисперсійний аналіз:

- з повторними вимірами (для залежних вибірок);
- з постійними факторами, випадковими чинниками та змішані моделі з факторами обох типів.

Нульовою гіпотезою в дисперсійному аналізі є твердження про рівність середніх значень.

В ході дисперсійного аналізу перевіряються за допомогою критерію Фішера нульові гіпотези: про рівність середніх під впливом кожного з факторів або про відсутність взаємодії всіх факторів.

При відхиленні нульової гіпотези про вплив окремого фактору приймається, що присутній головний ефект цього фактору.

При відхиленні нульової гіпотези про взаємодію факторів приймається, що вплив певного фактора проявляється по-різному на різних рівнях іншого фактора. Зазвичай у такому випадку результати загального аналізу визнаються такими, що не мають сили, і вплив одного фактору перевіряється окремо на кожному рівні іншого чинника за допомогою однофакторного дисперсійного аналізу або за t – критерієм Стьюдента.

Математична модель дисперсійного аналізу являє собою окремий випадок лінійної моделі, яка математично представляється поліномом необхідного ступеня.

При цьому, в разі незалежності вхідних факторів загальна дисперсія дорівнює сумі дисперсій кожного фактора, зумовлених дією окремо кожного з них.

Процедура дисперсійного аналізу передбачає визначення відношення: міжгрупової дисперсії до внутрішньогрупової з відповідних вибірок даних.

В якості показника мінливості використовується метод найменших квадратів (мінімізація суми квадратів відхилення значень параметра від середнього).

ДОВІДКА: метод найменших квадратів - математичний метод, який застосовують при вирішенні різних завдань, і який ґрунтується на мінімізації суми квадратів відхилень деякої, наприклад, запропонованої функції Y від відповідних базових (наприклад, експериментальних) значень величини шуканої змінної \hat{Y} у всьому полі відповідних вибірок y_i та \hat{y}_i [1]:

$$\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \rightarrow \min . \quad (2.24)$$

На відміну від однофакторної моделі, де є одна міжгрупова сума квадратів, модель багатофакторного аналізу включає суми квадратів для кожного фактору окремо і суми квадратів всіх взаємодій між ними.

Обмеженнями для застосування прийомів дисперсійного аналізу є необхідність:

- наявності випадкового і незалежного характеру вибірок вхідних факторів X ;
- наявності нормального (або близького до нормального) розподілу щільності ймовірності залежної змінної Y ;
- рівності дисперсій в порівнюваних генеральних сукупностях;
- бажано, щоб кількість даних у групах була однаковою або близькою, що значно уточнює дисперсійний аналіз.

Черговість обчислень при застосуванні одновимірного дисперсійного аналізу наступна.

Спочатку для кожної вибірки визначають оцінки середнього значення за формулою (2.6) і дисперсій за формулами (2.8) та (2.9), після чого перевіряють гіпотезу про рівність середніх для використаних вибірок.

Перевірку на нуль-гіпотезу про рівність середніх двох i -тих вибірок з кількістю членів n_i у кожній проводять за табличним критерієм Фішера (таблиця 2.12) з використанням параметру («статистики») :

$$F = \frac{S_1^2}{S_2^2} . \quad (2.25)$$

У табл. 2.12 у першій строчці по горизонталі показано кількість ступенів свободи $f_1 = n_1 - 1$ для вибірки з більшим значенням S_1^2 , а у першому стовпчику – кількість ступенів свободи $f_2 = n_2 - 1$ для вибірки з меншим значенням S_2^2 .

Якщо для табличного значення критерію Фішера $F_{1-\alpha}$ для визначеної кількості ступенів свободи f_i і обраного рівня значимості α виявиться $F > F_{1-\alpha}$, то робиться висновок про наявність різниці між середніми двох вибірок.

У разі підтвердження нуль-гіпотези про можливість розгляду усіх вхідних факторів в рамках однієї сукупності, і вихідних даних – також в рамках однієї іншої сукупності, визначають оцінки загального середнього.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^m (\bar{x}_i \cdot n_i)}{\sum_{i=1}^m n_i}, \quad (2.26)$$

де m – загальне число вибірок; n_i – число спостережень в i -тій вибірці.

Дисперсію S_1^2 , яка характеризує розсіяння по чинниках, вплив яких вивчається, визначають за формулою:

$$S_1^2 = \frac{1}{m-1} \cdot \sum_{i=1}^m n_i \cdot (\bar{x}_i - \bar{x})^2 \quad (2.27)$$

з кількістю ступенів свободи $k_1 = m - 1$.

Дисперсію S_2^2 , яка характеризує внутрішнє розсіяння, пов'язане з випадковістю чинників, вплив яких вивчається, визначають за формулою:

$$S_2^2 = \frac{1}{\sum_{i=1}^m (n_i - m)} \cdot \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_i)^2 \quad (2.28)$$

з кількістю ступенів свободи $k_2 = \sum_{i=1}^m n_i - m$.

Залишкова (непояснена) дисперсія усередині вибірки:

$$s^2 = \frac{1}{\sum_{i=1}^m (n_i - 1)} \cdot \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_i)^2 \quad (2.29)$$

з кількістю ступенів свободи $k = \sum_{i=1}^m n_i - 1$.

Якщо в ході аналізу порівнювались дисперсії вибірок вхідного (фактору) X і вихідної (залежної) величини Y , можна вважати про наявність впливу випадкових коливань вхідних параметрів на вихідні.

Дисперсійний аналіз не дає можливість одержання залежності між залежною величиною (функцією відгуку) та незалежними змінними (факторами) у вигляді конкретної формули. Для цього використовують наступні види кореляційного та регресійного аналізу.

Регресійний («регресійно-дисперсійний») аналіз – це статистичний метод дослідження впливу однієї або декількох незалежних змінних на залежну змінну.

Якщо послідовність X_1, X_2, \dots, X_m - випадкові величини із заданим спільним розподілом ймовірностей, які впливають на залежну від них величину Y , тоді математичне очікування вихідної функції, що являє собою рівняння регресії в загальному вигляді, називається «*регресією величини Y за величинами X_1, X_2, \dots, X_m* », або «*рівнянням регресії*», а відповідний графік – «*лінією регресії*».

Цілі регресійного аналізу:

- визначення ступеня детермінованості варіації випадкової залежної змінної Y (на виході системи) від випадкових незалежних змінних X (на її вході) з відшукуванням виду математичного рівняння такої залежності і прогнозуванням значення залежної змінної за допомогою незалежної (-их);
- визначення внеску окремих незалежних змінних у варіацію залежної змінної.

Регресійний аналіз не можна використовувати для визначення наявності зв'язку між змінними, оскільки наявність такого зв'язку і є передумова для застосування регресійного аналізу. Останнє може бути визначено в ході застосування дисперсійного аналізу.

Одержане під час регресійного аналізу рівняння є експериментально-статистичною моделлю досліджуваної системи.

При використанні регресійного аналізу слід мати на увазі певні передумови та обмеження:

- початковий статистичний матеріал повинен підкорятися нормальному закону розподілення даних;
- дисперсія вихідної величини не залежить від її математичного очікування, тобто вона не змінюється при повторних спостереженнях;
- варіація вхідних даних X має бути менше за варіацію вихідних Y ;
- потрібна наявність необхідної кількості змінних, які розглядаються в аналізі;
- регресійний аналіз дозволяє знаходити тільки числові залежності між змінними, а не їх статистичний зв'язок;
- при аналізі не всі припущення дослідника можна перевірити, але деякі похибки вимірювання можуть зміщувати оцінки і, як наслідок - саму лінію регресії та коефіцієнти регресії. Іноді виключення одного з екстремальних спостережень (спостереження, що випадає) може привести зовсім до іншого результату;
- регресійний аналіз краще описує лінійні зв'язки, але практика показує, що найчастіше процес як складна система формується нелінійними залежностями. В таких випадках необхідними стають методи лінеаризації залежностей та (або) використання відповідного комп'ютерного середовища для визначення коефіцієнтів регресії.

Визначення типу лінії регресії та відповідної формули зазвичай здійснюють вибором функції застосовного виду на підставі експертних міркувань та/або фізичної природи, а кращу з цього класу - з використанням *методу найменших квадратів*.

Загальна процедура з визначення коефіцієнтів регресії передбачає наступні кроки:

- вибір типу лінії регресії;
- визначення і прирівнювання нулю часткових похідних обраної залежності по величинам коефіцієнтів регресії;
- розв'язання системи отриманих рівнянь.

На практиці лінія регресії найчастіше представляється у вигляді полінома деякої міри, частіше й простіше - першого ступеня.

У разі такого одновимірного процесу лінійне рівняння регресії має вигляд:

$$y_i = a_0 + a_1 \cdot x_i + \xi, \quad (2.30)$$

де a_0, a_1 – постійні коефіцієнти («коефіцієнти регресії»); ξ – випадкова величина з математичним очікуванням 0 та дисперсією S_ξ^2 ; $i = 1, 2, \dots, n$ реалізацій.

Для цього простого випадку і після перетворень розрахунків коефіцієнтів регресії має проводитись за формулами [2]:

$$a_0 = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n x_i \cdot y_i - \sum_{i=1}^n x_i \cdot \sum_{i=1}^n y_i}{n \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2}; \quad a_1 = \frac{\sum_{i=1}^n y_i - a_0 \cdot \sum_{i=1}^n x_i}{n}. \quad (2.31)$$

Деякі функціональні залежності, явно відмінні від лінійного вигляду, заміною змінних можна привести до лінійного вигляду («лінеаризувати»), зокрема, підстановкою або логарифмуванням.

Наприклад, при використанні залежності $y = a \cdot x^b$ перехід до лінійної форми здійснюється перетворенням: $\lg y = \lg a + b \cdot \lg x$ з наступною заміною $\lg y = u$; $\lg a = c$; $\lg x = w$, внаслідок чого отримується лінійне рівняння: $u = c + b \cdot w$.

Перевірку параметрів регресії на значущість здійснюють за допомогою t -критерію Стьюдента.

Залишкова (непояснена) дисперсія S_0^2 функції відгуку Y щодо лінії регресії визначається за формулою:

$$S_0^2 = \frac{S_y^2 \cdot (1-r) \cdot (n-1)}{n-m-1}, \quad (2.32)$$

де m – кількість входів; r – коефіцієнт кореляції за формулою (2.21); дисперсія вихідної вибірки (для Y):

$$S_y^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - y_{cep})^2}{n-1}. \quad (2.33)$$

Далі обчислюють параметри («статистики») для коефіцієнтів a_0 та a_1 з рівняння (2.30):

$$t_{a_0} = \frac{a_0 \cdot \sqrt{S_x}}{S_0}; \quad t_{a_1} = \frac{a_1 \cdot (1/n + x_{cep}^2 / \sqrt{S_x})}{S_0}, \quad (2.34)$$

які зіставляють з табличними значеннями критерію Стьюдента при $k = n - 2$ та обраному значенню коефіцієнту значущості α .

Якщо $|t_a| \leq t_{\alpha,k}$, вважають, що нуль-гіпотеза є вірною, і значення відповідного a не є значущим (достовірним).

Для визначення ступеню взаємозв'язку входу системи X та її виходу Y спочатку визначають наступні дисперсії:

- загальну дисперсію $s_{y_0}^2$ фактору Y_0 виходу при його середньому значенні $Y_{0,cep}$ за експериментом, що відображує вплив як основних, так і залишкових (непояснених) факторів, за формулою:

$$s_{y_0}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_{i0} - Y_{0,cep})^2}{n}; \quad (2.35)$$

- дисперсію s_ϕ^2 фактору Y виходу, що відображує передбачуваний вплив тільки основних факторів згідно з формулою (2.30):

$$s_{\phi}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - y_{0cep})^2}{n}; \quad (2.36)$$

- залишкову (непоаяснену) дисперсію s_{ξ}^2 за формулою аналогічно виразу (2.32) для фактору Y виходу, що відображує вплив тільки неврахованих факторів.

При наявності кореляційного зв'язку виходів і входів мають виконуватись співвідношення:

$$s_y^2 = s_{\phi}^2 + s_{\xi}^2; \quad s_{\phi}^2 < s_{\xi}^2. \quad (2.37)$$

Для оцінювання загальної якості застосованого рівняння лінійної регресії використовують множинний коефіцієнт детермінації:

$$R^2 = s_{\phi}^2 / s_{y0}^2, \quad (2.38)$$

який визначає частку варіації виходу, яка зумовлена зміною входів, що входять до регресійної моделі, тобто показує, наскільки добре модель відповідає фактичним (експериментальним) даним. Вважають модель прийнятною, коли $R^2 \geq 0,7 \dots 0,8$.

Порядок виконання роботи студентом (повністю або частково, за рішенням викладача).

1. Обирає та узгоджує з викладачем предметну галузь та систему, на прикладі якої будуть визначатися аспекти моделювання.

2. Для обраної системи:

- визначає межі системи з ідентифікацією входів X_j (наприклад, X_1 - «маса»; X_2 - «час»; X_3 - «вартість» тощо) та 2...3 виходів Y_i (наприклад, Y_1 - «продуктивність»; Y_2 - «комплексний показник якості» тощо);

- представляє за прикладом таблиці 2.13 (в рамках ділової гри) по 10...20 значень по одному умовно взаємопов'язаних випадкових параметрів X_j та Y_i , за якими буде проводитись кореляційний аналіз (*і які відрізняються від тих, що представлені в якості прикладу в табл. 2.13*);

- за *власними* даними, що відображуються за формою табл. 2.13, будує і представляє Діаграму розкиду за формою рис. 2.13, наносить тренд і визначає вид кореляційного зв'язку (позитивний або негативний, або відсутній).

Таблиця 2.13 – Приклад представлення умовно взаємопов'язаних параметрів для проведення (в рамках ділової гри) кореляційного аналізу

$j;i$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
X_j	2	1	3	2	5	4	7	4	10	12	12	8	6	10	18
Y_i	5	6	3	7	8	2	8	4	8	6	8	7	9	15	13

3. За формулою (2.21) та з використанням даних, на кшталт табл. 2.13 розраховує коефіцієнт кореляції умовно взаємопов'язаних параметрів X_j та Y_1 , для чого попередньо визначає відповідні середні значення x_{cep} та y_{cep} ; S_X, S_Y – стандарти розподілу реалізацій випадкових величин X_j та Y_i з використанням формул (2.6) та (2.8) з Практичної роботи 7.

4. Для більш строгої перевірки нуль-гіпотези про наявність взаємозв'язку між X_j та Y_i на кшталт з таблиці 2.13 обчислює за формулою (2.13) «статистики» t (аналог критерію Стьюдента), яку порівнює з табличним значенням критерію Стьюдента $t_{\alpha,k}$ (за таблицею 2.7) для обраного рівня коефіцієнту значущості α та кількості ступенів свободи $k = n - 2$ (де n - кількість відповідних пар реалізацій). У представленому прикладі у табл. 2.13: $k = 15 - 2 = 13$.

Порівнює значення t і $t_{\alpha,k}$ і робить висновок, який підтверджує або спростовує наявність кореляційного зв'язку між X_j та Y_i (якщо $t \geq t_{\alpha,k}$ вважають, що нуль-гіпотеза має бути відхиленою, і взаємозв'язок між величинами X та Y існує).

5. За формулою (2.23) визначає коефіцієнт коваріації.

Другу (наступну частину) роботи, починаючи з п.6 студенти заочної форми навчання виконують в рамках Індивідуального завдання (див. Розділ 3 наявного видання).

6. Проводить елементарний регресійний аналіз, для чого виконує наступні дії:

- для формули (2.30) рівняння лінійної регресії за рівняннями формулами (2.31) розраховує коефіцієнти a_0 та a_1 ;

- за формулами (2.32) і (2.33) розраховує значення дисперсій, необхідних для вирішення питання про значущість коефіцієнтів a_0 та a_1 з урахуванням параметрів («статистик») t_{a_0} і t_{a_1} за формулами (2.34) і табл. 2.7;

- представляє лінійне рівняння регресії за формулою (2.30);

- розраховує необхідні дисперсії за формулами (2.33)...(2.37), коефіцієнт детермінації – за формулою (2.38) і робить висновок щодо адекватності/неадекватності моделі (2.30).

7. Формулює висновки, оформлює звіт з роботи та захищає його.

Оформлення роботи: згідно з відповідними методичними вказівками, що діють в УДУНТ.

Пояснювальна записка, як правило, містить: титульний аркуш; реферат; зміст; короткий опис розробки; висновки та рекомендації; перелік посилань.

Обсяг пояснювальної записки – 10...12 стор.; ф. А4; шрифт 14; 1 інтервал.

Захист роботи здійснюється у ході співбесіди студента з керівником. Наявність заліку враховується при формуванні заключної оцінки з навчальної дисципліни.

Практична робота № 9

«Ухвалення рішень при оптимізації систем»

Мета: освоєння студентами принципів моделювання систем.

Суть розробки: освоєння студентами підходів щодо визначення зв'язків суттєвих факторів при моделюванні та оптимізації систем на прикладі розгляду конкретного об'єкту.

Приклади визначення предметної сфери розробки: будь-яка сфера економічної діяльності або природна система.

Загальні положення (на додачу до матеріалів, що представлені в Практичній роботі № 7)

Для ефективного управління системою з безлічі факторів, які визначають її властивості і процеси в ній, необхідно вибирати визначальні.

Завдання з оптимізації системи - це відшукування найкращої сукупності її характеристик на множині X її альтернативних параметрів.

Найчастіше при проектуванні технологічних систем оптимізацію проводять за економічними критеріями: за максимізацією ефекту або за мінімізацією витрат (втрат).

У загальній постановці задача оптимізації системи не є формалізованою, оскільки кожна система може бути представлена різними способами. Для надання їй рис формалізованої (математичної) задачі необхідно мати інструментарій для вимірювання характеристик і порівняння можливих варіантів реалізації системи.

У математичній постановці *задача оптимізації* може бути сформульована наступним чином: «Знайти такі значення x_i , що належать X , для яких скалярна цільова функція має потрібний *екстремум* (максимум або мінімум).

На відміну від оптимізаційних розрахунків мають місце *багатоваріантні* розрахунки, при задаються конкретними значеннями шуканих величин, а значення цільової функції є наслідком такого завдання.

Прикладом багатоваріантного розрахунку може бути застосування Байєсовського підходу за умови варіювання вихідних даних та аналізу результатів розрахунків з вибором прийнятної альтернативи.

Серед математичних методів пошуку екстремуму найпростішими є ті, що базуються на використанні похідної, коли задача пошуку екстремуму зазвичай зводиться до розв'язання системи рівнянь:

$$\frac{\partial Q}{\partial Y_1} = 0; \quad \frac{\partial Q}{\partial Y_2} = 0; \quad \dots \quad \frac{\partial Q}{\partial Y_m} = 0. \quad (2.39)$$

Але при цьому часто нехтують тим, що параметри $Y_1 \dots Y_m$ стану системи (по суті – *одиничні показники якості*), зумовлені параметрами $X_1 \dots X_v$ елементів системи.

Тому у загальній постановці задачу пошуку екстремуму слід представляти у вигляді системи рівнянь наступним чином:

$$\frac{\partial Q}{\partial X_1} = 0; \quad \frac{\partial Q}{\partial X_2} = 0; \quad \dots \quad \frac{\partial Q}{\partial X_m} = 0. \quad (2.40)$$

Згідно з рівняннями (2.40), керуючі впливи слід спрямовувати не на досягнення максимальних значень одиничних показників якості, а на необхідний рівень технічних, технологічних та (або) організаційних факторів $x_j \rightarrow x_{j\max}$, які у сукупності забезпечують прийнятний максимальний рівень комплексного показника якості Q об'єкту, минаючи явне ураження значень Y_i .

Зі збільшенням *кількості* врахованих одиничних показників якості зростає та ускладнюється знаходження екстремуму функціоналу Q_{\max} *комплексного показника якості об'єкту* (зазвичай – це є цільовою функцією системи). Додатковими перешкодами на цьому шляху можуть стати: невизначено велика кількість одиничних показників якості об'єкту (з їх коефіцієнтами значущості K_i), кожен з яких залежить від невизначено великої кількості технічних, технологічних та (або) організаційних факторів, а також – виду залежностей $Y_i = \varphi(x_1; x_2 \dots x_m)$, а також за відсутності конкретного виду аналітичних залежностей - від виду згортки.

Іноколи взагалі математичного екстремуму Q_{\max} не існує, що виявляється при аналізі конкретного виду залежності (2.30) або (2.31). У такому разі для наближення до цільової функції з управління процесом

забезпечення якості об'єкту використовують значення X_j , які надають Q бажану найбільшу (або найменшу) величину (як правило, на одній із границь можливої реалізації X_j).

В результаті, процес розв'язання поставленого завдання у загальному вигляді стає невизначено об'ємним, що, як наслідок, призводить до необхідності розгляду за певним алгоритмом конкретних ситуацій, які є важливими для практики: експертне визначення переліку одиничних показників Y_i якості об'єкту з конкретизацією переліку X_j , коефіцієнтів K_i вагомості, виду функціоналу або згортки комплексного показника Q якості, а також – виду функціональних зв'язків у залежності $Y_i = \varphi(x_1; x_2 \dots x_m)$, оптимізація функціоналу Q і т.д.

Для зменшення об'єму розрахунків та полегшення їх аналізу доцільним є використання методів розрахункового спланованого експерименту, наприклад за планами ортогональних латинських квадратів.

При наявності достатнього статистичного матеріалу, який підкоряється нормальному закону розподілу ймовірності, та виконанні умов необхідних обмежень залежність Q від визначених критеріїв ефективності може бути конкретизованою в результаті *регресійного аналізу*, а відповідна рекурентна формула піддана аналізу на екстремум.

Але на практиці закон розподілення ймовірності статистичного матеріалу часто суттєво відхиляється від нормального, а комплексний показник якості Q суб'єктивно (чи директивно) формується сукупністю параметрів, частина з яких є керованими чинниками X_j , а частина – наслідком їх реалізації $Y_i = \varphi(x_1, x_2 \dots x_m)$. В результаті, «пряме» розв'язання задачі оптимізації при використанні регресійних формул може стати некоректним.

Складнощі при строгому розв'язанні математичної задачі оптимізації системи зумовлюють застосування певних нематематичних підходів для досягнення потрібного результату [1, 4]:

- Метод «Дерево цілей» («Дерево рішень», «Деревоподібна діаграма»);
- Метод експертних оцінок («Метод Дельфі») та ін.

Вказані методи пов'язані з процесом *ухвалення рішень* та ранжуванням параметрів (показників якості) об'єкту.

За характером рішення можуть бути:

- інтуїтивні;
- засновані на судженнях з урахуванням минулого досвіду;
- раціональні;
- із застосуванням наукового методу.

Вважається, що *інтуїтивні* рішення ухвалюють на основі відчуттів, які не підкріплені явним аналізом усіх «за» і «проти». При цьому, такі рішення виробляють без явного аналізування, але воно обов'язково, хоч і непомітно, проходить на підсвідомому рівні і приводить до відчуття правильності вибраного рішення. Такі успішні рішення характерні для учених і фахівців, що володіють глибокими знаннями предмету і великим практичним досвідом.

Рішення, засновані на судженнях з урахуванням минулого досвіду, ухвалюються на основі свідомого знання результатів раніше ухвалених ефективних рішень в аналогічних ситуаціях. Але, ухвалюючи рішення тільки на основі минулого досвіду, можна упустити нові перспективні напрями діяльності.

Найбільш прийнятними у повсякденній практиці представляються *раціональні рішення*. Такі рішення особливо виправдовують себе в нових ситуаціях, коли немає аналогічного досвіду.

Ухвалення раціональних рішень передбачає послідовне здійснення наступних кроків:

- діагностика проблеми;

- формулювання обмежень і критеріїв;
- визначення і оцінка альтернатив;
- вибір альтернативи (визначення оптимального або раціонального рішення).

Для умов оптимізації багатопараметричних стохастичних систем необхідним стає застосування наукового методу ухвалення рішень. Це включає:

- збір і аналіз інформації про проблему;
- формулювання гіпотези для вирішення проблеми;
- перевірку гіпотези;
- реалізацію рішення у разі вірної гіпотези або (у циклі зворотного зв'язку) збір, аналіз додаткової інформації і уточнення гіпотези у випадку, якщо початкова гіпотеза була невірною.

Далі в ітераційному циклі відшукується потрібне рішення.

Зрозуміло, що визначення найкращого рішення тим складніше, чим більше властивостей $Y_i = \varphi(x_1, x_2 \dots x_m)$ системи визначаються як суттєві при її адекватному представленні.

Для полегшення розв'язання проблеми прийняття рішень, пов'язаних з управлінням багатопараметричними системами, зокрема, в промисловості були розроблені підходи, основані на побудові «Дерева цілей».

Застосування цього інструменту ефективно у таких випадках:

- необхідність перетворення неявно сформульованих побажань споживачів до якості об'єкту спочатку у встановлені і передбачувані потреби, а потім – у технічні умови для цього об'єкту;
- необхідність дослідження всіх можливих частин (елементів, причин), що стосуються даного предмету (проблеми);
- короткострокові цілі повинні бути досягнуті раніше результатів всієї роботи, наприклад, на етапах планування та проєктування продукції тощо.

При застосуванні дерева цілей для виявлення й уточнення *функцій керування* говорять про «*дерево цілей і функцій*». При структуризації тематики науково-дослідної організації зручніше користатися терміном «*дерево проблем*», а при розробці прогнозів – терміном «*дерево напрямків розвитку (чи прогнозування розвитку)*».

Метод дерева цілей орієнтований на одержання повної і відносно стійкої структури, що складається з цілей, проблем, елементів, функцій, напрямків розвитку, тобто такої системи, яка мало змінюватиметься протягом певного періоду часу при неминучих змінах, що відбуваються в ній, або у надсистемі.

Тут слід враховувати наступне.

Цілі впливають з об'єктивних потреб і мають ієрархічний характер.

Цілі верхнього рівня не можуть бути досягнуті, поки не досягнуті цілі найближчого нижнього рівня.

В міру переміщення уваги до нижніх рівнів ієрархії цілі конкретизуються. У процесі побудови та використання дерева цілей необхідно прагнути чіткого і конкретного формулювання цілей, забезпечити можливість кількісної чи порядкової оцінки ступеня їхнього досягнення.

Цілі функціонування системи необхідно конкретизувати за часом і виконавцями, тобто загальний остаточний результат, якого прагне система, *треба структурувати*: піддати декомпозиції на окремі задачі, що розв'язуватимуться в коротші терміни.

Змістовна частина дерева цілей будується на ґрунті складеного стратегічного або оперативного прогнозу на відповідний період.

У більшості випадків *дерево цілей* будується поетапно, згори донизу, шляхом послідовного переходу від вищого рівня до нижчого суміжного рівня, хоча існують методи побудови дерева одночасно «згори» — від розробників та керівництва, та «знизу» — починаючи від користувачів-виконавців, з наступною координацією отримуваних структур.

Конкретизація цілей згори донизу повинна зростати: чим нижче рівень, тим в докладнішій формі визначається мета. Потім основну тему (ціль) поділяють на конкретніші складові («під-цілі»), що записуються у тому ж форматі, і декомпозиція цілей відбувається доти, поки під-цілі не стануть об'єктивно вимірними, або ж коли подальша декомпозиція виявиться недоцільною. В деяких випадках вдається дістатися кількісної форми критеріїв досягнення цілі.

Генеральну тему (мету) бажано записувати в одному з форматів [4, 8]:

- [Категорія – елементи] → [суб-елементи] → [пояснення];
- [Категорія – характеристика] → [пояснення] → [суб-категорії];
- [Процес – дія] → [пояснення] → [об'єкт] → [елементи];
- [Дієслово-дія] → [пояснення] → [об'єкт] тощо.

Порядок побудови «деревоподібної діаграми» полягає в наступному.

1. Ясно і просто сформулюйте тему (проблему), що аналізується.
2. Визначте основні категорії (причини) даної теми (проблеми), використовуючи «мозкову атаку» або картки із заголовками і «діаграми спорідненості».

3. Побудуйте «деревоподібну діаграму» за схемою на рисунку 2.14

4. Для кожної категорії визначте основні складові і будь-яке їх наповнення (*суб-елементи*).

5. Проаналізуйте діаграму, щоб переконатися у відсутності пропусків в логіці або послідовності етапів.

Приклад «деревоподібної діаграми» для реалізації структури: «[Категорія – характеристика] → [пояснення] → [суб-категорії]», - приведений на рисунку 2.14.

Приклад «деревоподібної діаграми» для телефонного автовідповідача за прикладом структури: «[Процес – дія] → [пояснення] → [об'єкт] → [елементи]», - приведений на рисунку 2.15.

Для перевірки повноти і внутрішньої несуперечливості дерева цілей застосовуються наступні правила. При просуванні *згори донизу* деревом цілей *суб-ціль – наслідок* утворюється шляхом відповіді на запитання: «Що потрібно зробити, щоб реалізувати безпосередню *ціль-предок* з попереднього рівня?».

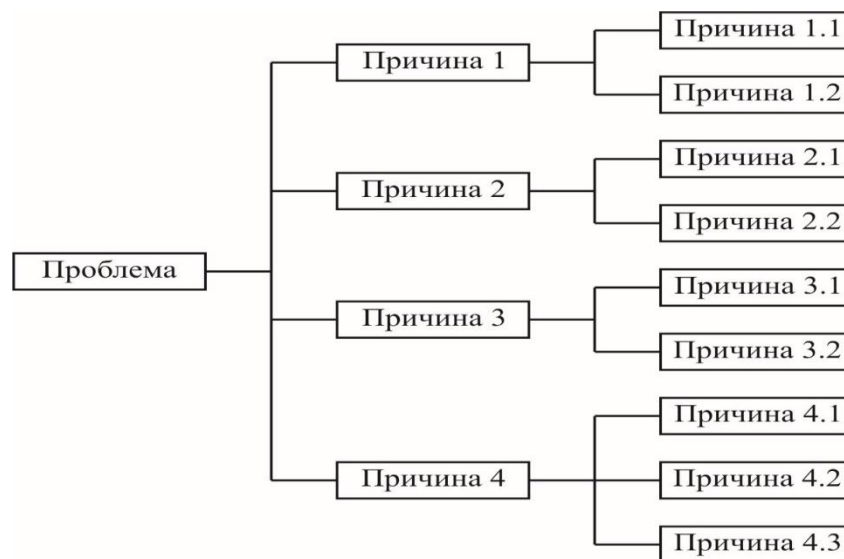


Рисунок 2.14 – Схема побудови «Деревоподібної діаграми» [1]

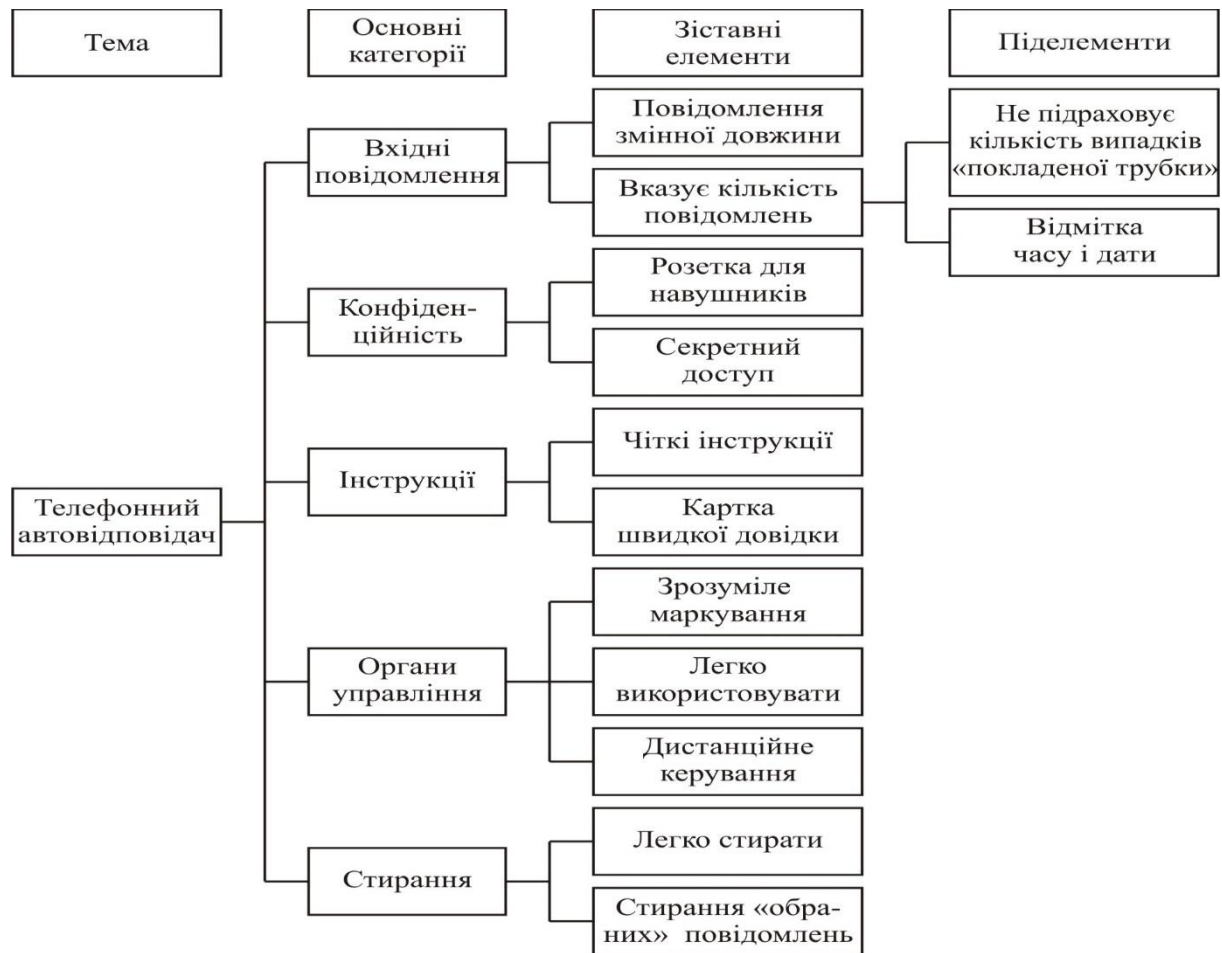


Рисунок 2.15 – «Деревоподібна діаграма» для телефонного автовідповідача [1]

При просуванні *знизу догори* ціль вищого рівня повинна відповідати на запитання: «Для чого необхідна безпосередня суб-ціль – наслідок».

При розгляді множини безпосередніх суб-цілей – наслідків, необхідних для досягнення однієї цілі, необхідно уточнити, чи всі суб-цілі, дійсно, необхідні для її досягнення.

При розгляді множини безпосередніх суб-цілей – наслідків, необхідних для досягнення однієї цілі, слід уточнити, які ще безпосередні суб-цілі – наслідки необхідні для досягнення мети.

Різновидом представлення «Дерева цілей» є один з інструментів забезпечення якості - **Причинно-наслідкова діаграма**, або «**Діаграма Ісікава**». Вона має універсальне застосування при *аналізі різних факторів*, що впливають на об'єкт розгляду, зокрема, *причин* дефектів, які приводять до найбільших втрат, що дозволяє зосередитися на усуненні саме цих причин.

Причинно-наслідкову діаграму також називають «Гілчастою схемою характерних чинників»; «Діаграмою причин і результатів (наслідків)»; «Діаграмою “риб'ячий скелет”»; «Деревом»; діаграмою «Чотири М» – за складом чотирьох основних чинників: «*Персонал – Men*», «*Метод – Method*», «*Матеріали – Materials*», «*Обладнання – Machine*» (у загальному випадку, кількість і перелік основних чинників можуть бути й іншими) і т.д. Вона складається з показника, що характеризує результат, і чинників, що впливають на цей результат (рисунок 2.16).

Побудова діаграми включає наступні кроки:

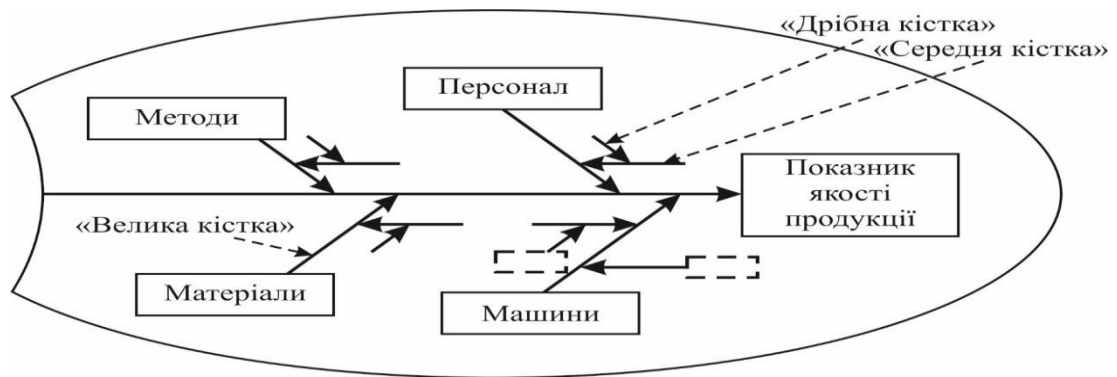


Рисунок 2.16 – Узагальнений вигляд «Причинно-наслідкової діаграми» [1]

- вибір показника, що характеризує якість об'єкту (продукції, послуги) для визначеної системи, процесу, персоналу тощо), наприклад «точність розмірів виробу»;
- вибір *головних факторів*, які впливають на показник якості. Їх необхідно помістити в прямокутники, що відповідають «великим кіткам» за обраними категоріями;
- вибір *вторинних факторів* («середні кістки»), що впливають на головні;
- вибір (опис) *факторів третинного порядку* («дрібні кістки»), які впливають на вторинні;
- ранжування чинників за їх значущістю та виділення найбільш важливих.

В результаті такого аналізу, як правило, з'ясовується, що кількість *істотних* факторів є невеликою, і викликаються вони невеликою кількістю причин. В результаті, з'ясувавши причини появи нечисленних істотно важливих факторів, можна суттєво покращити об'єкт.

В якості конкретного прикладу на рисунку 2.17 зображена Діаграма Ісікава, присвячена аналізу вагомості чинників, які зумовлюють оцінку складових діяльності з покращення якості роботи готелю. У цьому прикладі найбільш вагомі фактори показані курсивом.

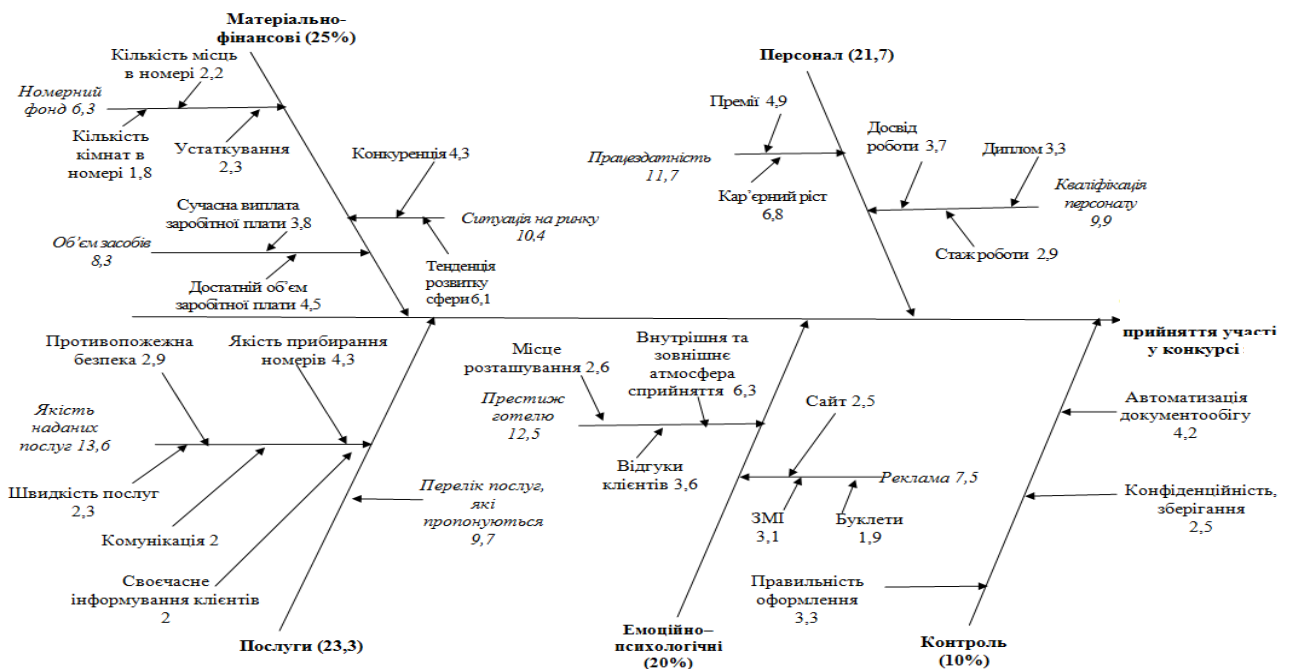


Рисунок 2.17 – Приклад Діаграми Ісікава при аналізі вагомості впливових факторів

Всі етапи побудови «Дерева цілей» та аналізу результатів зумовлені *участю експертів* та застосуванням методу експертних оцінок – «*Методу ДЕЛЬФІ*» [4, 5].

Вибір форм і методів проведення відповідних експертних опитувань, підходів до опрацювання результатів опитування і т. д. залежить від конкретної задачі й умов проведення експертизи. Однак існують деякі загальні підходи, які потрібно враховувати при проведенні цієї складової системного аналізу.

В розповсюдженому варіанті застосування Методу Дельфі передбачається попереднє ознайомлення експертів з ситуацією за допомогою певної моделі: математично строгої або ж неформальної.

Під час першого етапу формулюється мета експертизи, фахівцям пропонується оцінити структуру моделі загалом та надати думки щодо невключених зв'язків та перелік запитань у вигляді уніфікованої анкети, можливо з поясненням. Для складних систем пояснення може бути представлено у вигляді концептуальної моделі системи та характеру можливих відповідей.

Анонімність та можливість поповнити інформацію щодо предмету експертизи створюють умови, які забезпечують найпродуктивнішу працю експертної групи. Крім того, наявність зворотного зв'язку, що реалізується в декілька турів, дозволяє експертам корегувати свої висловлювання з урахуванням проміжних усереднених оцінок та пояснень експертів, які висловили полярні точки зору.

Оформлені результати-відповіді експертів на анкети опрацьовуються аналітичною групою.

Аналітична група визначає граничні точки зору: найвищі та найнижчі оцінки для кожної альтернативи, середнє значення, верхній та нижній кuartилі. Відстань між кuartилями характеризує узгодженість точок зору експертів: чим вона менше, тим менше розбіг між оцінками різних експертів.

На другому етапі експерти отримують інформацію від експертної групи, що стає основою для корегувань думок експертів у відповідності до їх попередніх оцінок.

Скорегована інформація також опрацьовується аналітичною групою.

Третій та четвертий етапи по суті не відрізняються від другого: при переході від етапу до етапу покращується узгодженість оцінок. Кількість турів визначається ступенем узгодженості між експертами та наявністю або відсутністю поляризації.

У деяких випадках думки експертів мають тенденцію до поляризації. Користь методу Дельфі в цьому випадку полягає у виявленні поляризованих точок зору у різних експертів (груп експертів).

Як показує досвід, зміна оцінок експертів наближає їх до дійсних значень, особливо, якщо експерти відзначаються високим рівнем компетентності.

Існує ряд модифікацій методу Дельфі, які додатково дозволяють уточнювати результати експертних оцінок шляхом визначення відносного рівня компетентності експертів та розрахунку результатів експертизи лише для експертів з відносно високим рівнем компетентності; зменшити тиск на експертів за рахунок повідомлення експертам значень кuartилів; послідовно розширювати коло експертів (*переваги* — відсутність тиску усередненої думки, отримання більшої кількості інформації за рахунок аргументації оцінок експертами, *недолік* — чутливість до порядку опитування експертів).

Існує ймовірність того, що достатньо суттєва інформація, якою може володіти один з експертів групи, може бути невикористаною внаслідок обмеженості запитань анкети. Тому формування анкет повинно бути надзвичайно професійним та оперативним, щоб відреагувати на нову інформацію, отриману після чергового туру.

Для підвищення результативності опитувань і активізації експертів іноді сполучають метод Дельфі з елементами ділової гри: експерту пропонується ставити себе на місце конструктора, якому реально доручено виконувати проєкт, чи на місце працівника апарату керування і т. д.

При цьому апіорі приймається, що значення досліджуваної характеристики знаходиться усередині діапазону оцінок, одержуваних від групи експертів, і що узагальнена колективна думка є достовірною.

Фактори, на яких ґрунтується здатність експерта-фахівця давати достовірну та корисну інформацію щодо якості об'єкту в умовах невизначеності, можна поділити на внутрішні (індивідуальні) і зовнішні (соціальні).

Внутрішні фактори можуть привести до викривлення інформації у бік як завищених, так і занижених оцінок, що може бути зумовлене суб'єктивними особливостями експерта, наприклад, станом його здоров'я, настроєм, схильностями тощо.

Зовнішні фактори можуть бути пов'язані із впливом зовнішнього середовища (колективу, суспільства, довкілля) на інформацію, яку надає експерт. Такий вплив може залежати, наприклад, від цілей організації, в якій працює фахівець, його посади в структурі цієї організації, політичної ситуації тощо.

Інформація, одержана від експертів, потребує *формалізації* – проміжного перетворення її у форму, зручну для подальшого аналізу та використання.

Оцінювання складових такої інформації здійснюють а допомогою шкал як засобу вимірювання ознак інформації.

Шкалування – це ряд пов'язаних між собою статистичних технік, які використовують при візуалізації інформаційних ознак об'єкту для дослідження схожості та/або відмінності у даних. На практиці, *шкалування є способом розміщення даних на певній шкалі*. За результатами шкалування дослідник в рамках певної системи пріоритетів може здійснити *ранжуванням* («ранжирування») характеристик (параметрів), тобто зробити висновки щодо послідовності розміщення даних, наприклад, за розміром, ступенем прояву, важливості тощо.

При експертному оцінюванні використовують два типи шкал [1, 5]: **розмірні та безрозмірні**.

При використанні шкал результати вимірювання або оцінювання можна замінити балами. Такі шкали називають «*бальними*».

Шкали вимірювань поділяють на дві групи:

- якісні (неметричні);
- кількісні (метричні).

До якісних шкал вимірювань відносять шкали:

- найменувань (або «номінальні», або «класифікаційні»);
- порядкові (або «рангові», або «ординальні»).

Шкала найменувань (або «номінальна», або «класифікаційна») передбачає вимірювання (ідентифікацію) *якісних* ознак різних об'єктів у певному класі *еквівалентності* цих ознак.

Ранжування за такими шкалами здійснюється за назвою (або за номером) у переліку, що *не містить інформацію про величину* відповідної характеристики об'єкту, а тільки - про її *наявність*. Номінальну шкалу називають «класифікаційною» у зв'язку з тим, що у разі її використання кожному об'єкту присвоюється певна позначка, що свідчить про його належність до відповідного класу. *Єдина функція вимірювань у шкалі найменувань – це розрізнення об'єктів*. Іноді у таких шкалах *число* використовують як назву (ім'я) об'єкту, наприклад, «об'єкт 1», «об'єкт 2» тощо. Певна річ, математичні операції з такими числами не мають сенсу.

У шкалі найменувань допустимі всі взаємно однозначні перетворення, оскільки в ній числа – лише позначки, тобто їх використовують тільки для розрізнення об'єктів.

Найпростіша шкала найменувань (номінальна шкала) – *дихотомічна*, що складається тільки з *двох* класів об'єкту, наприклад: «дріт» – «пруток»; «прокатка» – «пресування» тощо. Більш складні варіанти номінальної шкали можуть складатися з трьох чи більше класів (наприклад, «точність низька», «точність звичайна», «точність висока»).

Таке поділення об'єктів на групи дозволяє перейти від найменувань до цифр, шляхом підрахування кількості об'єктів (спостережень, реакцій тощо), що увійшли в один клас. Таке наповнення класів дає

кількість одиниць інформації, або частоту, з якою можна потім працювати за допомогою математичних методів.

При великій кількості класів використовують *ієрархічні шкали* найменувань, до яких відносять *порядкові* (або «рангові», або «ординальні») шкали, що будуються, коли досліджувані об'єкти можна за результатами порівнянь розташувати у визначеній послідовності з урахуванням суттєвих факторів, які дозволяють розрізнити ці об'єкти.

У *порядковій шкалі* ранжування об'єктів здійснюється від «найменшого значення» до «найбільшого значення» (або навпаки) за критерієм «більше – менше» (або «менше – більше»). При цьому має бути не менше трьох класів (наприклад, «відсутня реакція», «слабка реакція», «сильна реакція»). Для такої шкали характерною є *наявність при кількісній невизначеності різниці* між елементами шкали. Числа в цих шкалах не тільки ідентифікують об'єкт, але й відображають порядок розміщення елементів – «місця» (об'єктів або їхніх ознак) за певним пріоритетом.

Порядкові шкали дають змогу визначити, що *за певною ознакою* один об'єкт кращий або важливіший, ніж інший, або рівноцінний йому. Проте в порядкових шкалах не можна визначити *міру* домінування, тобто виміряти, *наскільки* один об'єкт кращий чи важливіший за інший. Прикладом може бути впорядкування науково-дослідних робіт за важливістю.

Різновидом порядкових (рангових) шкал можна вважати *реперні рангові шкали*, в яких зафіксовані опорні («реперні») точки з присвоєнням останнім певних балів у числовому вираженні. Так, від класів легко перейти до чисел, якщо домовитись, що нижчий клас отримує «ранг 1», середній – «ранг 2», а високий – «ранг 3» (або навпаки). Тут одиницею вимірювання стає відстань в 1 клас (1 ранг), але при цьому величина відстані між класами (рангами) може бути різною (і невідомою). Прикладом можуть стати рівні ситуаційної тривоги: «низький» – «ранг 1», або «1 бал»; «середній» – «ранг 2», або «2 бали»; «високий» – «ранг 3», або «3 бали».

У *кількісних шкалах вимірювань* передбачається кількісне вимірювання ознак об'єктів з використанням одиниці вимірювання («еталону»), що дає змогу виявити *кількісні співвідношення* між об'єктами. Сюди відносять шкали:

- інтервалів («інтервальні»);
- різностей («різниць»);
- відношень, або метричні (пропорційні);
- абсолютні.

Шкали інтервалів дають змогу виміряти «віддаль» між об'єктами, визначити, на скільки одиниць виміру один об'єкт відрізняється від іншого («кращий за інший»). Проте на такій шкалі неможливо зазначити ні природний початок відліку, ні природну одиницю виміру.

Шкалу інтервалів легко зобразити графічно (рисунок 2.18).

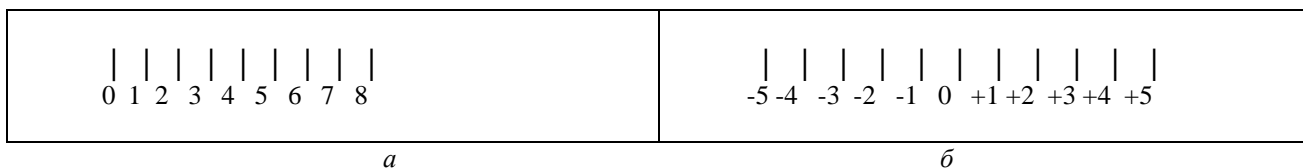


Рисунок 2.18 – Представлення шкали інтервалів: *a* – початок відліку на краю шкали; *b* – початок відліку у середині шкали з відліком в обидва боки

Ці шкали мають таку властивість: *однакові різниці числових значень, виміряні в цих шкалах, відповідають (але не дорівнюють!) однаковим різницям вимірюваної ознаки*. Тому можна замінити одну інтервальну шкалу на іншу в межах лінійного перетворення. Дослідник має сам задати точку відліку й обрати одиницю виміру. Так, за шкалою інтервалів вимірюють потенційну енергію (у залежності від певної висоти підйому предмету), координату точки на прямій при довільному визначенні точки відліку або час, потрібний для виконання певної дії.

Шкала різностей є різновидом шкали інтервалів, для яких є визначеними *довільний* початок відліку A та одиниця вимірювання («еталон»), з якою порівнюється вся решта величин A_i за різницею: $A_i - A = \Delta A$.

Тут ранжування здійснюється за принципом: «більше на певне число одиниць – менше на певне число одиниць» у зіставленні з визначеною одиницею вимірювання («еталоном»). Тому для такої шкали при зміні початку відліку або пропорційній зміні одиниці вимірювання зберігається співвідношення між виміряними *різницями* ΔA величин та їх ранжована послідовність. Як приклад можна взяти різні системи літочислення. Тут є природна одиниця виміру – рік, але немає природного початку відліку.

Використання інтервальних шкал потребує розуміння *суті* певного *шкалування*.

Наприклад, при вимірюванні рівню інтелекту за психолого-діагностичними тестами виходить, що різниця в *IQ* між 125 і 120, яка дорівнює 5 балів, формально дорівнює різниці між 90 і 85 балами. Але, враховуючи особливості розробки таких тестів, ці дані не можна вважати основою для кількісного порівняння інтелекту чотирьох індивідуумів у двох розглянутих парах. У подібних ситуаціях можна лише стверджувати, що *IQ* у 125 балів більше, ніж 120 балів, а *IQ* у 90 балів більше, ніж 85 балів, але *різницю в 5 балів в обох випадках не можна вважати рівнозначною*.

Шкали відношень, чи метричні (пропорційні) мають всі характеристики шкал вимірювання (дозволяють розрізняти розходження, величину, встановлювати рівні інтервали, мають точку істинного нуля) і вважаються найінформативнішими зі шкал вимірювання.

Це, наприклад, шкали для вимірювання маси, розмірів об'єктів тощо. За їх допомогою можна визначити, у скільки разів один об'єкт більший за інший.

Пропорційна шкала, на відміну від інтервальної шкали, має природну нульову точку відліку, тому допустиме лише пропорційне перетворення цієї шкали (числові значення в шкалі відношень задано з точністю до постійного множника). У ній *відношення числових оцінок* об'єктів залишаються сталими. Наприклад, при вимірюванні довжини двох об'єктів у метрах або дюймах відношення довжин залишиться сталим.

Абсолютні шкали характерні наявністю природної однозначної нульової точки відліку, визначеністю одиниці вимірювання («еталону») та масштабу. Це дає можливість кількісного вираження опорної величини *A* та решти величин *A_i* в одиницях вимірювань. Лише для абсолютної шкали результати вимірювань являють собою звичайні числа. Прикладами можуть стати шкалування продуктивності обладнання по місяцях протягом року, кількості робітників у цехах, кількості виробничих дільниць тощо.

Окрім названих шести основних типів шкал, іноді використовують й інші (наприклад, шкали *гіперупорядкування* для *одночасного* відображення та аналізу декількох характеристик даних, зокрема, за їх абсолютним розміром та за різницею розмірів між членами ряду).

Важливим є те, що при використанні шкал (якісних або кількісних) ранжування стає обґрунтованим та однозначним.

Ранжування та оцінювання даних спостережень

Для *оцінювання ряду однорідних факторів*, які не піддаються вимірюванню приладами (методами метрології) застосовують *ранжування* даних, тобто побудова їх упорядкованого ряду за деякими обраними правилами. Ці правила можуть передбачати використання, або не використовувати шкалування даних. Отже поняття про ранжування є більш широким, ніж шкалування.

Ранжування застосовується у ситуаціях, коли потрібно впорядкувати будь-які об'єкти (явища):

- в часі або просторі за умови необхідності лише взаємного просторового або часового їх розділення;
- у відповідності з будь-яким показником якості, але при цьому не треба здійснювати його точне вимірювання з причин практичного або теоретичного характеру.

У подібних випадках ранжування по суті є використанням порядкової шкали, і може суттєво залежати від суб'єктивних обставин, а саме – від особливостей сприйняття інформації людиною-експертом.

Особливості ранжування за порядковою шкалою містяться у наступному.

Під час такого ранжування експерт повинен розмістити об'єкти («альтернативи») у порядку, який він уявляє найбільш раціональним, і приписати кожному з них число натурального ряду – *ранг* [5].

Наприклад, для визначеності приймається, що «ранг 1» одержує найбільш переважна альтернатива, а «ранг *N*» — найменш переважна.

Тоді *порядкова шкала*, яку одержують у результаті ранжування, має задовольняти умові, щоб *кількість рангів N дорівнювала кількості об'єктів n , що ранжуються (розміщуються у впорядкованому ряду)*, а сума значень усіх їх місць M_N визначається за формулою суми членів арифметичної прогресії з кроком 1 при значенні «одиниця –1» першого члена [5]:

$$M_N = \sum_{i=1}^n x_i = n(n+1)/2. \quad (2.41)$$

Може статися, що експерт не може встановити порядок пріоритетів для якихось двох або більше об'єктів x_i із сукупності X , і він присвоює об'єктам \bar{x}_i однаковий ранг. В результаті, кількість рангів N виявляється меншою за кількість об'єктів n , які ранжуються, а сума місць – меншою, ніж розрахунок за рівнянням (2.41).

У такій ситуації, як і у попередньому випадку, загальну кількість рангів вважають рівною n , а об'єктам, що мають однакові ранги, присвоюють так званий «*стандартизований ранг*», значення якого становить середнє суми місць, поділених між собою об'єктами з однаковими рангами.

Наприклад, при кількості $n = 6$ об'єктів («альтернатив», «факторів»), що відображені у *першому* рядку таблиці 2.14, експертом при попередньому оцінюванні присвоєні ранги x_i , які відображені у *другому* рядку.

Таблиця 2.14 – Приклад визначення «стандартизованих рангів» одним експертом

$1 \leq i \leq n$	1	2	3	4	5	6
x_i	1	2	3	3	2	3
\bar{x}_i	1	2,5	5	5	2,5	5

У даному випадку кількість визначених місць дорівнює 3, що менше за 6 – кількість об'єктів, а загальна сума M_N рангів, розрахована за даними другої строчки табл. 2.14, дорівнює 14, що менше у порівнянні з 21 при розрахунку за формулою (2.41). При цьому видно, що об'єкти з № 2 і № 5 поділили між собою 2-е і 3-є місця, а об'єкти № 3, № 4 і № 6 поділили 4, 5 і 6-е місця (у другій строчці табл. 2.14).

При наданні об'єктам № 2 і № 5 «стандартизованого рангу», який дорівнює $(2+3)/2=2,5$, а об'єктам № 3, № 4 і № 6 «стандартизованого рангу», який дорівнює $(4+5+6)/3=5$, одержуємо ранжування, яке відображене у *третьій строчці* табл. 2.14. Тут сума рангів $S_N = 21$, що відповідає розрахунку за виразом (2.41).

У випадку, коли ранжування здійснюють m експертів, спочатку кожен j -й експерт ($1 \leq j \leq m$) визначає суму для *кожного i -го об'єкта* ($1 \leq i \leq n$), а потім підраховують суму рангів за даними усіх експертів [5]:

$$M_{ij} = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n x_{ij}. \quad (2.42)$$

Зазвичай *найвищий* (перший) ранг присвоюють об'єкту, що дістав *найменшу* суму рангів, а *найнижчий* ранг – n -му об'єкту, що дістав найбільшу суму рангів. Решта об'єктів упорядковується у відповідності до значення суми рангів між 1 та n .

Точність і надійність процедури ранжування, значною мірою, залежить від кількості об'єктів.

Чим оцінюваних об'єктів менше, тим вища їх «розрізнюваність» з погляду експерта, а отже – тим надійніше можна встановити ранг об'єкту.

Бажано, щоб кількість об'єктів n , які ранжуються, не перевищувала 20, а найбільш надійною ця процедура стає, коли $n < 10$.

Метод ранжування найчастіше використовується одночасно з іншими методами, що забезпечують чіткішу ідентифікацію відмінності факторів.

Одним з них є *метод безпосередньої оцінки* і деякі його модифікації. Інколи навіть виявляється зручнішим спочатку провести оцінювання для вибору найбільш переважного фактору, а потім — ранжування.

Метод безпосередньої оцінки полягає в тому, що *діапазон* зміни будь-якої якісної ознаки за *узгодженням експертів* розділяється на кілька інтервалів, кожному з яких присвоюється певна оцінка (бал), наприклад, від 0 до 10. При цьому, *шкала оцінок* може бути не тільки додатною, а й, знакозмінною, наприклад, з оцінками в інтервалі від -3 до $+3$, а кількість інтервалів, на які розбивається весь діапазон зміни факторів, не обов'язково має бути однаковим для кожного експерта. Крім того, кожному експертові дозволяється давати однакові оцінки декільком якісно різним факторам.

Завдання експерту полягає в розміщенні кожного з об'єктів (факторів), що розглядаються, у певному оцінному інтервалі за критерієм ступеня реалізації тієї чи іншої властивості або у відповідності до припущень експерта про її значущість.

Нехай, наприклад, m експертів оцінили (за шкалою від 0 до 100) $a...k$ напрямів досліджень з погляду їх важливості для досягнення певної мети. Оцінювання зробили для знайдених значень на шкалі інтервалів з кроком 10. Далі, кожному з напрямів надано число натурального ряду так, щоб ранг 1 відповідав максимальній оцінці 100, а останній найменший ранг – нулю. При цьому, найменша оцінка не обов'язково має бути рівною 0, як це відображено у таблиці 2.15.

Таблиця 2.15 – Приклад переведення оцінок у ранги за методом безпосередньої оцінки

Напрямок досліджень	a	b	c	d	e	f	g	h	k
Оцінка	31...40	21...30	71...80	81...90	0...20	91...100	51...60	61...70	41...50
Ранг	7	8	3	2	9	1	5	4	6

Іноді корисним стає *нормування* сумарних оцінок рангів. Це передбачає, що відповідне число, яке характеризує оцінку, ділиться на якесь характерне інше число, вибране, як правило – з множини визначених оцінок. Це може бути: сума оцінок, максимальна або мінімальна оцінка тощо.

Якщо число, на яке нормуються інші оцінки, є максимальною оцінкою з певної сукупності оцінок, то нормування здійснюється у межах $0...1$ для всієї сукупності факторів.

Інший спосіб установаження залежності між оцінками факторів (об'єктів, характеристик) полягає в тому, що найважливішому (з погляду експертів) фактору призначається оцінка (вага), яка дорівнює наперед заданому числу (зазвичай, 1 або 10), а оцінка наступних один за одним за важливістю факторів визначається послідовно як частка важливішого. Здобути таким способом значення нормується. Основна зручність цього способу полягає в тому, що він полегшує процес визначення оцінок, оскільки експертові не потрібно щоразу зіставляти весь їхній ряд; він лише повинен враховувати значення першої і попередньої за важливістю оцінок.

За суттю цей підхід представляє собою варіант *Методу парного порівняння*, який полягає у послідовному зіставленні певних властивостей двох і більше однорідних об'єктів у парах для визначення, який з них є кращим. Технологія цього методу регламентується ДСТУ ISO 5495:2005 Дослідження сенсорне. Методологія. Метод парного порівняння (ISO 5495:1983, IDT) і застосовується у наукових дослідженнях переваг, відносин, систем голосування, соціального вибору, громадського вибору, інженерії вимог та багатопараметричних систем.

Оцінки, одержані від групи експертів, можуть бути усереднені для кожного фактору шляхом розрахунку середнього арифметичного.

Відповідний алгоритм дій включає наступні кроки, які можна продемонструвати на простому прикладі [5].

Нехай $m=5$ експертів оцінюють $n=7$ об'єктів Q_i . Якщо хтось з експертів не може встановити рангову відмінність між кількома суміжними факторами і присвоює їм однакові ранги, розрахунок коефіцієнта конкордації слід виконувати з урахуванням «стандартизованих рангів» (див. приклад у табл. 2.14).

1. Усі об'єкти оцінювання нумерують *довільно*.
2. Експерти ранжують об'єкти за шкалою порядку. При цьому (в рамках прикладу, що розглядається) кожен j -тий експерт з $m=5$ їх загальної кількості оцінив кожен i -тий об'єкт Q_i з $n=7$ їх загальної кількості (тобто Q_1 – об'єкт з маркуванням «1»; Q_2 – об'єкт з маркуванням «2» і т.п.).

Нехай результатом (в рамках ділової гри) стали наступні дані ранжування експертами :

- експерт №1 ($j=1$) → $Q_5 < Q_3 < Q_2 < Q_1 < Q_6 < Q_4 < Q_7$;
- експерт №2 ($j=2$) → $Q_5 < Q_3 < Q_2 < Q_6 < Q_4 < Q_1 < Q_7$;
- експерт №3 ($j=3$) → $Q_3 < Q_1 < Q_5 < Q_2 < Q_6 < Q_4 < Q_7$;
- експерт №4 ($j=4$) → $Q_5 < Q_3 < Q_2 < Q_1 < Q_6 < Q_4 < Q_7$;
- експерт №5 ($j=5$) → $Q_5 < Q_3 < Q_1 < Q_2 < Q_6 < Q_4 < Q_7$.

3. Ранг K_{Q_i} кожного з i -тих об'єктів Q_i в узагальненому ранжованому ряду за даними усіх m експертів визначається сумою відповідних рангів, що надав кожен j -тий експерт:

- *першому об'єкту* Q_1 перший експерт надав ранг «4»; другий експерт – ранг «б», третій експерт – ранг «2», четвертий – ранг «4»; п'ятий – ранг «3», що в сумі дало (по «горизонталі») 19; аналогічно другому об'єкту Q_2 були надані ранги першим експертом – ранг «3»; другим – ранг «3» і т. д.:

$$\begin{aligned}
 Q_1 &\rightarrow 4+6+2+4+3=19; \\
 Q_2 &\rightarrow 3+3+4+3+4=17; \\
 Q_3 &\rightarrow 2+2+1+2+2=9; \\
 Q_4 &\rightarrow 6+5+6+6+6=29; \\
 Q_5 &\rightarrow 1+1+3+1+1=7; \\
 Q_6 &\rightarrow 5+4+5+5+5=24; \\
 Q_7 &\rightarrow 7+7+7+7+7=35; \\
 &\text{Загальна сума } 140.
 \end{aligned}$$

На підставі отриманих сум рангів будуть узагальнений ряд ранжованих об'єктів згідно з думкою усіх експертів. Ці дані показують, який з об'єктів, у цілому, кращий (або гірший) за інші.

Для нашого прикладу цей ряд має вигляд:

$$Q_5 < Q_3 < Q_2 < Q_1 < Q_6 < Q_4 < Q_7.$$

4. Для орієнтовного оцінювання, *наскільки* вагомими є переваги (або недоліки) кожного з об'єктів у порівнянні з іншими, можна скористатися формулою для розрахунку *відносного показника переваги* K_i :

$$K_i = \frac{\sum_{i=1}^n K_{Q_i}}{\sum_{i=1; j=1}^{m,n} K_{Q_{ij}}}, \quad (2.43)$$

де враховуються значення як наведених сум рангів (у чисельнику), так і загальна сума рангів, що надані m експертами для n об'єктів.

Розрахунки за формулою (2.43) для розглянутого прикладу дають такі результати (індекс при K_i відповідає номеру об'єкту): $K_1=19/140=0,136$; $K_2=17/140=0,121$; $K_3=9/140=0,064$; $K_4=29/140=0,207$; $K_5=7/140=0,050$; $K_6=24/140=0,171$; $K_7=35/140=0,250$. Сума усіх K_i дорівнює 1,00.

Конкордація та підвищення якості експертних оцінок

При аналізі даних, отриманих внаслідок експертного оцінювання об'єктів, слід враховувати, що *меншим* значенням як абсолютної K_{Q_i} , так і відносної K_i суми рангів відповідає *більш високий пріоритет* у порівнянні з іншими значеннями. При цьому за *різницею* між «сусідніми» K_i можна деякою мірою судити про *ступінь конкордації* (узгодженості) думок експертів щодо якості об'єктів і тим самим – про *якість групи самих експертів*.

Але таке оцінювання може потребувати більш точної оцінки. У таких випадках розглядаються *не результати* ранжування об'єктів, а *узгодженість відповідних дій групи експертів*.

Це здійснюється за наступним алгоритмом

Якщо групою з m експертів ($1 \leq j \leq m$) розглядаються $1 \leq i \leq n$ об'єктів X_i (факторів, властивостей) відносно деякої ознаки якості, і ці об'єкти вже ранжовані стосовно цієї ознаки, то результати такого ранжування можна подати у вигляді матриці значень X_{ij} , представленої у таблиці 2.16.

Таблиця 2.16 – Приклад представлення матриці для конкордації оцінок експертів

Експерт	Об'єкт (фактор, властивість)					
	1	2	...	i	...	n
1	X_{11}	X_{21}	...	X_{i1}	...	X_{n1}
2	X_{12}	X_{22}	...	X_{2i}	...	X_{2n}
...
j	X_{1j}	X_{2j}	...	X_{ij}	...	X_{nj}
...
m	X_{1m}	X_{2m}	...	X_{im}	...	X_{nm}

Скориставшись прийомами *парного порівняння*, можна було б знайти рангову кореляцію між оцінками кожної пари експертів і на цій основі зробити висновок щодо якості роботи всієї групи експертів. Однак за великої кількості експертів та об'єктів такий розрахунок стає занадто громіздким.

Тому в подібних випадках ступінь узгодженості думок m експертів за сукупністю декількох критеріїв оцінюють за допомогою «*коефіцієнта конкордації*» $0 \leq V \leq 1$.

Коефіцієнт конкордації найчастіше розраховують за формулою, запропонованою Кендаллом [1, 5]:

$$V = \frac{12}{n^3 - n} \cdot n \sum_{i=1}^m \left(\frac{1}{m} \cdot \sum_{j=1}^m X_{ij} - \frac{n+1}{2} \right)^2. \quad (2.44)$$

Значення $V \rightarrow 1$ відповідає добрій узгодженості роботи експертів, що виражається у наданні близьких оцінок щодо ознак якості об'єкту X ; навпаки, $V \rightarrow 0$ означає, що оцінки, надані різними експертами, дуже різняться.

Останнє потребує проведення наради щодо узгодженості підходів до оцінювання властивостей об'єкту або коригування складу експертної групи.

В якості прикладу розглянемо два варіанти розрахунку величини V за значеннями X_{ij} , представленими у таблиці 2.17. Перший – при штучному повному узгодженні оцінок експертів. Другий – при повній штучній неузгодженості їх оцінок.

Таблиця 2.17 – Приклади узгодженості та неузгодженості оцінок експертів

Експерти $1 \leq j \leq m$	Значення X_{ij} об'єктів, що оцінюються: $1 \leq i \leq n$							
	Узгоджена робота експертів				Неузгоджена робота експертів			
1	3	2	1	4	2	1	3	4
2	3	2	1	4	4	2	1	3
3	3	2	1	4	3	4	2	1

- При узгодженій роботі експертів згідно з формулою (2.44):

$$V_1 = \frac{12}{4^3 - 4} \cdot \left(\left(\frac{1}{3} \cdot (3+3+3) - \frac{4+1}{2} \right)^2 + \left(\frac{1}{3} \cdot (2+2+2) - \frac{4+1}{2} \right)^2 + \left(\frac{1}{3} \cdot (1+1+1) - \frac{4+1}{2} \right)^2 + \right. \\ \left. + \left(\frac{1}{3} \cdot (4+4+4) - \frac{4+1}{2} \right)^2 \right) = 1.$$

- При неузгодженій роботі експертів згідно з (2.44):

$$W_1 = \frac{12}{4^3 - 4} \cdot \left(\left(\frac{1}{3} \cdot (2+4+3) - \frac{4+1}{2} \right)^2 + \left(\frac{1}{3} \cdot (1+2+4) - \frac{4+1}{2} \right)^2 + \left(\frac{1}{3} \cdot (3+1+2) - \frac{4+1}{2} \right)^2 + \right. \\ \left. + \left(\frac{1}{3} \cdot (4+3+1) - \frac{4+1}{2} \right)^2 \right) \approx 0,12.$$

Для більш успішного застосування методу експертних оцінок доцільно визначити вплив професійних та інших характеристик експертів на їхню «поведінку». Розв'язання цього завдання треба починати з оцінювання зв'язку розподілів експертів на групи.

Нехай за результатами такого розподілу отримуємо групи експертів A_1, A_2, \dots, A_m . Кожна група A_i характеризується тим, що думки експертів, що входять до цієї групи, близькі за інформативним змістом.

Водночас кожний експерт має низку об'єктивних характеристик (професія, посада, вид підприємства, яке він представляє, стаж роботи, освіта, вік тощо). На базі такого набору ознак можна виконати інший розподіл експертів на k груп a_1, a_2, \dots, a_k . Тепер кожна група a_i включає експертів, «схожих» за своїми об'єктивними характеристиками. Після того, як експерти нового складу груп виконають ранжування ознак об'єкту, можна порівняти цей результат з попереднім.

Якщо різниця є суттєвою, можна зробити висновок, що об'єктивні властивості експертів впливають на результати експертизи.

Тоді виникає потреба у наступному етапі аналізу — виявленні найважливіших характеристик експертів.

Для оцінювання ролі окремих характеристик експертів у виникненні неоднорідності відповідей використовують різні способи, зокрема - анкетування.

Якщо кількість характеристик не дуже велика, можна загальну сукупність анкет послідовно розділяти на групи за кожною з цих характеристик. Далі для формування специфічних груп, що утворені розподілом

сукупності анкет за окремою характеристикою (тип підприємства, спеціальність, стаж роботи у даній сфері і т. ін.), розраховуються коефіцієнти узгодженості думок. Структура розрахунків таких коефіцієнтів узгодженості аналогічна розрахункам коефіцієнтів конкордації або їх аналогам.

Порівняльний аналіз значень коефіцієнтів конкордації відповідно до груп, утворених при розподілі сукупності експертів за різними характеристиками, дозволяє визначити відносну важливість окремих характеристик експертів.

Найбільш важливою є та характеристика, що забезпечує найбільшу узгодженість відповідей в одній окремій групі експертів.

Взагалі, рекомендується віддавати перевагу експерту з оптимістичними (декілька завищеними) оцінками, що мають малий розкид.

З метою оцінювання *надійності* експерта можуть бути застосовані й більш прості статистичні методики, запропоновані О. Хелмером. При цьому під ступенем надійності експерта розуміють відносну частоту випадків, коли експерт приписував найбільшу ймовірність гіпотезам, котрі потім підтвердились (під «гіпотезою» тут розуміється *індивідуальна пропозиція* експерта щодо рівня оцінки певної ознаки об'єкту оцінювання). Відповідна формула для оцінки надійності експерта може мати такий вигляд:

$$R = \frac{N_e}{N}, \quad (2.45)$$

де N_e – кількість випадків, в яких експерт, зустрівшись з кількома альтернативними гіпотезами, приписав найбільшу ймовірність саме тій, яка підтвердилася; N – загальна кількість випадків, коли експерт робив оцінку.

Зважаючи на те що експерт найчастіше працює в колективі, упроваджують поняття про *відносну надійність*, яка розраховується наступним чином:

$$R' = \frac{R}{R_m}, \quad (2.46)$$

де R – ступінь надійності (абсолютна) даного експерта за формулою (2.45); R_m – середній ступінь надійності для деякої групи експертів.

При цьому бажано, щоб *абсолютний* ступінь надійності був наближений до одиниці, а *відносна* надійність експерта – не менше одиниці.

Порядок виконання роботи студентом (повністю або частково за рішенням викладача).

1. Обирає та узгоджує з викладачем предметну галузь та систему, на прикладі якої буде виконуватись робота.

2. Для обраної системи (в рамках ділової гри):

- наводить міркування щодо суттєвих параметрів, за якими доцільно здійснювати оптимізацію системи;

- викладає підходи до прийняття рішень щодо оптимізації системи з вибором застосовного підходу;

- визначає ієрархію цілей при оптимізації системи за одним із суттєвих визначених параметрів.

3. Будує і представляє «Дерево цілей» за прикладом на рис. 2.15.

4. Для того ж обраного параметру будує і представляє «Діаграму Ісікава» за прикладами на рис. 2.16 та 2.17.

5. Наводить характеристику основних шкал та відповідних прикладів їх застосування.

6. За формою таблиці 2.18 згідно з прикладом у табл. 2.14 представляє (в рамках ділової гри) результат роботи одного експерта при оцінюванні n показників якості обраного об'єкту при наявності стандартизованих рангів і надає розрахунки за формулою (2.41).

7. За формою таблиці 2.19 згідно з прикладом у табл. 2.15 (в рамках ділової) гри представляє результати оцінювання n показників якості обраного об'єкту m експертами, представляє ряд ранжирування показників якості та відносні показники переваги параметрів, які оцінювались, з використанням формули (2.43).

Таблиця 2.18 – Результат роботи одного експерта при оцінювання n показників якості обраного об'єкту при наявності стандартизованих рангів

$1 \leq i \leq n$	1	2	...	...	....	$n = \dots$	Сума
x_i							
\bar{x}_i							

Таблиця 2.19 – Результат переведення оцінок у ранги за методом безпосередньої оцінки

Напрямок досліджень	a	b	...	...	...	...	...	...	k
Оцінка									
Ранг									

8. За формою таблиці 2.20 згідно з прикладом у табл. 2.16 (в рамках ділової гри) представляє дані для визначення конкордації роботи експертів, а за формулами (2.44)...(2.46) розраховує коефіцієнт конкордації, характеристику надійності та відносної надійності експертів.

Таблиця 2.20 – Дані для визначення конкордації оцінок експертів

Експерт	Об'єкт (фактор, властивість)					
	1	2	...	i	...	n
1	X_{11}	X_{21}	...	X_{i1}	...	X_{n1}
2	X_{12}	X_{22}	...	X_{2i}	...	X_{2n}
...
j	X_{1j}	X_{2j}	...	X_{ij}	...	X_{nj}
...
m	X_{1m}	X_{2m}	...	X_{im}	...	X_{nm}
<i>Примітка: замість X_{nm} у комірках слід відобразити результати ранжування</i>						

9. Формулює висновки, оформлює звіт з роботи та захищає його.

Оформлення роботи: згідно з відповідними методичними вказівками, що діють в УДУНТ. Пояснювальна записка, як правило, містить: титульний аркуш; реферат; зміст; короткий опис розробки; висновки та рекомендації; перелік посилань.

Обсяг пояснювальної записки – 8...10 стор.; ф. А4; шрифт 14; 1 інтервал.

Захист роботи здійснюється у ході співбесіди студента з керівником. Наявність заліку враховується при формуванні заключної оцінки з навчальної дисципліни.

2.2 Індивідуальне завдання

«Застосування регресійного аналізу для визначення залежності між функцією відгуку та випадковим фактором»

Мета: освоєння студентами принципів моделювання систем.

Суть розробки: освоєння студентами методу регресійного аналізу на прикладі розгляду конкретної системи взаємозв'язку вихідної величини від вхідного випадкового фактору.

Приклади визначення предметної сфери розробки: будь-яка сфера економічної діяльності або природна система.

Загальні положення (на додачу до відповідних матеріалів, що представлені в Практичних роботах № № 7 та 8)

Для ефективного управління системою з безлічі факторів, які визначають її властивості і процеси в ній, необхідно вибрати визначальні.

Ці дії можуть виконуватись за двома напрямками:

- із застосуванням методів щодо виявлення таких факторів. Сюди відносяться методи кореляційного та дисперсійного аналізів;

- методами, які пов'язані з побудовою математичних моделей.

Можна вважати, що ВСІ діючі фактори і реакція системи на їх вплив мають ознаки випадковості через інші, невраховані впливи. Це зумовлює певні особливості при забезпеченні раціонального управління системою.

Дисперсійний аналіз, розглянутий в Практичній роботі № 8, не дає можливість одержання залежності між залежною величиною (функцією відгуку) та незалежними змінними (факторами) у вигляді конкретної формули. Для цього використовують регресійний аналіз.

Регресійний («регресійно-дисперсійний») аналіз – це статистичний метод дослідження впливу однієї або декількох незалежних змінних на залежну змінну [1, 4].

Якщо послідовність X_1, X_2, \dots, X_m - випадкові величини із заданим спільним розподілом ймовірностей, які впливають на залежну від них величину Y , тоді математичне очікування вихідної функції, що являє собою рівняння регресії в загальному вигляді, називається «регресією величини Y за величинами X_1, X_2, \dots, X_m », або «рівнянням регресії», а відповідний графік – «лінією регресії».

Цілі регресійного аналізу:

- визначення ступеня детермінованості варіації випадкової залежної змінної Y (на виході системи) від випадкових незалежних змінних X (на її вході) з відшукуванням виду математичного рівняння такої залежності і прогнозуванням значення залежної змінної за допомогою незалежної (-их);

- визначення внеску окремих незалежних змінних у варіацію залежної змінної.

Регресійний аналіз не можна використовувати для визначення наявності зв'язку між змінними, оскільки наявність такого зв'язку і є передумова для застосування регресійного аналізу. Останнє може бути визначено в ході застосування дисперсійного аналізу.

Одержане під час регресійного аналізу рівняння є експериментально-статистичною моделлю досліджуваної системи.

При використанні регресійного аналізу слід мати на увазі певні передумови та обмеження:

- початковий статистичний матеріал повинен підкорятися нормальному закону розподілення даних;
- дисперсія вихідної величини не залежить від її математичного очікування, тобто вона не змінюється при повторних спостереженнях;
- варіація вхідних даних X має бути менше за варіацію вихідних Y ;
- потрібна наявність необхідної кількості змінних, які розглядаються в аналізі;
- регресійний аналіз дозволяє знаходити тільки числові залежності між змінними, а не їх статистичний зв'язок;
- при аналізі не всі припущення дослідника можна перевірити, але деякі похибки вимірювання можуть зміщувати оцінки і, як наслідок - саму лінію регресії та коефіцієнти регресії. Іноді виключення одного з екстремальних спостережень (спостереження, що випадає) може привести зовсім до іншого результату;
- регресійний аналіз краще описує лінійні зв'язки, але практика показує, що найчастіше процес як складна система формується нелінійними залежностями. В таких випадках необхідними стають методи лінеаризації залежностей та (або) використання відповідного комп'ютерного середовища для визначення коефіцієнтів регресії.

Визначення типу лінії регресії та відповідної формули зазвичай здійснюють вибором функції застосовного виду на підставі експертних міркувань та/або фізичної природи, а кращу з цього класу - з використанням *методу найменших квадратів*.

Загальна процедура з визначення коефіцієнтів регресії передбачає наступні кроки:

- вибір типу лінії регресії;
- визначення і прирівнювання нулю часткових похідних обраної залежності по величинам коефіцієнтів регресії;
- розв'язання системи отриманих рівнянь.

На практиці лінія регресії найчастіше представляється у вигляді полінома деякого ступеню, частіше й простіше – першого ступеня.

У разі такого одновимірного процесу лінійне рівняння регресії має вигляд:

$$y_i = a_0 + a_1 \cdot x_i + \xi, \quad (2.47)$$

де a_0 , a_1 – постійні коефіцієнти («коефіцієнти регресії»); ξ – випадкова величина з математичним очікуванням 0 та дисперсією S_ξ^2 ; $i = 1, 2, \dots, n$ реалізацій.

Для цього простого випадку і після перетворень розрахунок коефіцієнтів регресії має проводитись за формулами [2]:

$$a_0 = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n x_i \cdot y_i - \sum_{i=1}^n x_i \cdot \sum_{i=1}^n y_i}{n \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2}; \quad a_1 = \frac{\sum_{i=1}^n y_i - a_0 \cdot \sum_{i=1}^n x_i}{n}. \quad (2.48)$$

Деякі функціональні залежності, явно відмінні від лінійного вигляду, заміною змінних можна привести до лінійного вигляду («лінеаризувати»), зокрема, підстановкою або логарифмуванням.

Наприклад, при використанні залежності $y = a \cdot x^b$ перехід до лінійної форми здійснюється перетворенням: $\lg y = \lg a + b \cdot \lg x$ з наступною заміною $\lg y = u$; $\lg a = c$; $\lg x = w$, внаслідок чого отримується лінійне рівняння: $u = c + b \cdot w$.

Перевірку параметрів регресії на значущість здійснюють за допомогою t -критерію Стьюдента.

Залишкова (непояснена) дисперсія S_0^2 функції відгуку Y щодо лінії регресії визначається за формулою:

$$S_0^2 = \frac{S_y^2 \cdot (1-r) \cdot (n-1)}{n-m-1}, \quad (2.49)$$

де m – кількість входів; r – коефіцієнт кореляції за формулою (2.21); дисперсія залежного параметру (для Y):

$$S_y^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - y_{\text{сеп}})^2}{n-1}. \quad (2.50)$$

Далі обчислюють параметри («статистики») для коефіцієнтів a_0 та a_1 з рівняння (2.47):

$$t_{a_0} = \frac{a_0 \cdot \sqrt{S_x}}{S_0}; \quad t_{a_1} = \frac{a_1 \cdot (1/n + x_{\text{сеп}}^2 / \sqrt{S_x})}{S_0}, \quad (2.51)$$

які зіставляють з табличними значеннями критерію Стьюдента за табл. 2.7 при $k = n - 2$ та обраному значенню коефіцієнту значущості α .

Якщо $|t_a| \leq t_{\alpha,k}$, вважають, що нуль-гіпотеза є вірною, і значення відповідного a не є значущим (достовірним).

Для визначення ступеню взаємозв'язку входів системи X та її виходу Y спочатку визначають наступні дисперсії:

- загальну дисперсію $s_{y_0}^2$ фактору Y_0 виходу при його середньому значенні $Y_{0,\text{сеп}}$ за експериментом, що відображує вплив як основних, так і залишкових (непояснених) факторів, за формулою:

$$s_{y_0}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_{i0} - Y_{0,\text{сеп}})^2}{n}; \quad (2.52)$$

- дисперсію s_{ϕ}^2 фактору Y виходу, що відображує передбачуваний вплив тільки основних факторів згідно з формулою (2.47):

$$s_{\phi}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - y_{0,\text{сеп}})^2}{n}; \quad (2.53)$$

- залишкову (непояснену) дисперсію s_{ξ}^2 за формулою аналогічно виразу (2.49) для фактору Y виходу, що відображує вплив тільки неврахованих факторів.

При наявності кореляційного зв'язку виходів і входів мають виконуватись співвідношення:

$$s_y^2 = s_{\phi}^2 + s_{\xi}^2; \quad s_{\phi}^2 < s_{\xi}^2. \quad (2.54)$$

Для оцінювання загальної якості застосованого рівняння лінійної регресії використовують множинний коефіцієнт детермінації:

$$R^2 = s_{\phi}^2 / s_{y_0}^2, \quad (2.55)$$

який визначає частку варіації виходу, яка зумовлена зміною входів, що входять до регресійної моделі, тобто показує, наскільки добре модель відповідає фактичним (експериментальним) даним. Вважають модель прийнятною, коли $R^2 \geq 0,7 \dots 0,8$.

Порядок виконання Індивідуального завдання студентом.

1. Обирає та узгоджує з викладачем предметну галузь та систему, на прикладі якої буде проводитися регресійний аналіз.

2. Для обраної системи:

- визначає межі системи з ідентифікацією входів X_j (наприклад, X_1 - «маса»; X_2 - «час»; X_3 - «вартість» тощо) та 2...3 виходи Y_i (наприклад, Y_1 - «продуктивність»; Y_2 - «комплексний показник якості» тощо);

- представляє за прикладом таблиці 2.13 (в рамках ділової гри) по 10...20 значень за одним з умовно взаємопов'язаних випадкових параметрів X_j та Y_i , згідно з якими буде проводитися регресійний аналіз (і які відрізняються від тих, що представлені в якості прикладу в табл. 2.13).

3. Проводить елементарний регресійний аналіз, для чого виконує наступні дії:

- за формулами (2.48) розраховує коефіцієнти a_0 та a_1 для рівняння (2.47) лінійної регресії;

- за формулами (2.49) та (2.50) розраховує значення дисперсій, необхідних для вирішення питання про значущість коефіцієнтів a_0 та a_1 з урахуванням параметрів («статистик») t_{a_0} і t_{a_1} за формулами (2.51) і табл. 2.7;

- представляє лінійне рівняння регресії за формулою (2.47);

- розраховує необхідні дисперсії за формулами (2.52)...(2.54), коефіцієнт детермінації – за формулою (2.55) і робить висновок щодо адекватності/неадекватності моделі (2.47).

3 Формулює висновки, оформлює звіт з роботи та захищає його.

Оформлення роботи: згідно з відповідними методичними вказівками, що діють в УДУНТ. Пояснювальна записка, як правило, містить: титульний аркуш; реферат; зміст; короткий опис розробки; висновки та рекомендації; перелік посилань.

Обсяг пояснювальної записки – 6...8 стор.; ф. А4; шрифт 14; 1 інтервал.

Захист роботи здійснюється у ході співбесіди студента з керівником. Наявність заліку враховується при формуванні заключної оцінки з навчальної дисципліни.

3 ЗАСОБИ САМОКОНТРОЛЮ

1. Дайте визначення поняттям «аналіз», «синтез» і «декомпозиція» в рамках системного підходу.
2. Опишіть головні задачі системного аналізу.
3. Що таке класифікація?
4. Опишіть основні закони існування систем, закони їх статичного стану та динаміки. Надайте відповідні приклади.
5. Надайте характеристику стадіям життєвого циклу системи в рамках S-подібної закономірності її розвитку.
6. Як змінюється ентропія ізольованої системи?
7. Поясніть терміни «емерджентність» та «синергія» з точки зору теорії систем.

8. Що таке «принцип гомеостазу» системи?
9. Надайте характеристику категоріям «система», «підсистема», «надсистема», «елемент системи», «зовнішнє середовище», «контекст».
10. Якими параметрами характеризують зв'язки у системі?
11. Що може бути «Входом системи», «Виходом системи»?
12. Чи може «процесор системи» не мати виходу ?
13. Що являє собою формальна модель типу «Чорна скриня»?
14. Надайте пояснення суті категоріям «ітерація» та «обернений зв'язок».
15. Яку модель називають імітаційною?
16. Які ознаки «складної системи»?
17. Надайте загальну характеристику категорії «управління».
18. Чим «бізнес-система» відрізняється від «системи»?
19. Надайте характеристику категорії «Структура системи» з точки зору системного підходу.
20. Що необхідно для реагування системи на інформаційний (матеріальний) потік?
21. Що є первинним: функція системи чи її структура? Чому?
22. Опишіть зв'язок системного та процесного підходів.
23. Надайте характеристику категорії «моделювання» в рамках системного аналізу. Як класифікуються моделі?
24. Надайте характеристику моделі «Дерево цілей».
25. Чим відрізняється «Діаграма потоку даних» від Блок-схеми того ж процесу?
26. Надайте характеристику видам Матричних діаграм.
27. Чим відрізняються категорії «шкалування» та «ранжування»?
28. Що таке «стандартизований ранг» при ранжуванні?
29. Дайте визначення поняттю «граф», що використовується в системному аналізі.
30. Які є основні типи шкал? Надайте їм загальну характеристику
31. Надайте характеристику основним оцінним параметрам випадкової величини.
32. Надайте характеристику Нормальному закону розподілення ймовірності.
33. Які обмеження має застосування регресійного аналізу?
34. Для чого використовують дисперсійний аналіз?
35. Для чого використовують кореляційний аналіз?
36. Надайте загальну характеристику «Методу ДЕЛФІ».
37. Для чого використовують підхід Байеса?
38. Для чого використовують коефіцієнт конкордації за Кендаллом?

ПЕРЕЛІК РЕКОМЕНДОВАНИХ ПОСИЛАНЬ

Основна література

1. Системи менеджменту якості / А. М. Должанський, Н. М. Мосьпан, І. М. Ломов, О. С. Максакова. Дніпропетровськ : «Свідлер А.Г.», 2017. 563 с.
2. Соловійова І. А., Братутін В. Г. Теорія систем та системний аналіз : конспект лекцій. Дніпропетровськ : НМетАУ, 2005. Ч. 1. 54 с.

3. Соловійова І. А., Братутін В. Г. Теорія систем та системний аналіз : конспект лекцій. Дніпропетровськ : НМетАУ, 2005. Ч. 2. 55 с.

4. Соловійова І. А., Николаєнко Ю. М. Теорія систем та прийняття рішень : навч. посіб. Дніпро : НМетАУ, 2020. Ч. III. 43 с.

5. Технічне регулювання та контроль на підприємстві / А. М. Должанський та ін. / за ред. А. М. Должанського. Дніпро : Видавець «Свідлер А. Л.», 2021. Том 1. 523 с.

6. Повна ймовірність. Теорія ймовірностей та математична статистика : метод. рек. до самостійної роботи з теми «Емпіричні та логічні основи теорії ймовірностей. Основні теореми теорії ймовірностей» для студентів усіх спеціальностей. *The page you're looking for could not be found.* URL: <http://ebooks.git-elt.hneu.edu.ua/tvms/p-2-4.html> (дата звернення 24.01.2025).

7. Учасники проектів Вікімедіа. Критерій Фішера. *Wikimedia.* URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Критерій_Фішера#:~:text=F-тестом%20або%20критерієм%20Фішера,на%20«ступеня%20свободи» (дата звернення 23.01.2025 р.).

Допоміжна література

8. Добротвор І. Г., Савченко А. О., Буяк М. П. Системний аналіз : навч. посіб. Тернопіль : ТНЕУ, 2019. 170 с.

9. Дивак М. П. Системний аналіз : метод. посіб. Тернопіль : Тернопільська академія народного господарства ; Інститут комп'ютерних інформаційних технологій, 2004. 136 с.

10. Угрин Д. І., Галочкін О. В., Яцько О. М. Системний аналіз : навч. посіб. Чернівці : Чернівецький національний університет ім. Ю. Федьковича, 2022. 242 с.

11. Положення про виконання кваліфікаційної роботи в Українському державному університеті науки і технологій : рукопис / розробники: Радкевич А. В. та ін. Дніпро : УДУНТ, 2022. 47 с.

Навчально-методичне видання

Должанський Анатолій Михайлович,
Чернецький Євгеній Вячеславович,
Брагинський Олег Борисович

ОСНОВИ СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ

Навчально-методичні рекомендації до проведення практичних занять

Електронне видання

Експертний висновок склала канд. техн. наук, доц. Наталія Полякова

Зареєстровано НМВ УДУНТ (№ 33 від 17.03.2025)

В авторській редакції
Комп'ютерна верстка А. М. Должанський

Формат 60x84 1/16. Ум. друк. арк. 4,65. Обл.-вид. арк. 4,70.
Зам. № 37.

Видавець: Український державний університет науки і технологій
вул. Лазаряна, 2, ауд. 2216, м. Дніпро, 49010.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 7709 від 14.12.2022

Адреса видавця та дільниці оперативної поліграфії:
вул. Лазаряна, 2, Дніпро, 49010