

**МІНІСТЕРСТВО НАУКИ І ОСВІТИ УКРАЇНИ**  
**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ**  
**«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ**  
**ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**МОДЕЛЮВАННЯ УПРАВЛІННЯ ЕКОНОМІЧНИМИ**  
**СИСТЕМАМИ І ПРОЦЕСАМИ:**

**НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС ДИСЦИПЛІНИ**

**НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК**  
**для здобувачів**  
**ступеня доктора філософії**  
**за освітньо-наукової програмою «Менеджмент»**  
**спеціальності 073 «Менеджмент»**

**КИЇВ 2023**

Моделювання управління економічними системами і процесами: навчально-методичний комплекс дисципліни (перероблений і доповнений) [електронний ресурс]: навч. посіб. для здобувачів ступеня доктора філософії за освітньо-науковою програмою «Менеджмент» спеціальності 073 «Менеджмент» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: С.О. Солнцев, Ж.М. Жигалкевич. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. 76 с.

*Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол № 4 від 27.04.2023 р.)  
за поданням вченої ради факультету менеджменту та маркетингу  
(протокол № 10 від 24.04.2023 р.)*

Електронне мережне навчальне видання

## **МОДЕЛЮВАННЯ УПРАВЛІННЯ ЕКОНОМІЧНИХ СИСТЕМ І ПРОЦЕСІВ:**

### **НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС ДИСЦИПЛІНИ**

#### **НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК**

**для здобувачів**

**ступеня доктора філософії**

**за освітньо-наукової програмою «Менеджмент»  
спеціальності 073 «Менеджмент»**

Укладачі: *Солнцев Сергій Олексійович, д-р фіз.-мат. наук, проф.*

*Жигалкевич Жанна Михайлівна, д-р екон. наук, доц.*

Відповідальний  
редактор:

*канд. екон. наук Царьова Т.О.*

Рецензенти:

*Капустян В. О., д-р фіз.-мат. наук, проф.*

*Дунська А.Р., д-р екон.н., проф.*

## ЗМІСТ

ВСТУП	4
РОБОЧА НАВЧАЛЬНА ПРОГРАМА ДИСЦИПЛІНИ	5
ЗМІСТ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ	20
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	68
ДОДАТКИ	72

## ВСТУП

Необхідність вивчення економічних систем і процесів пов'язана з їх життям. Як будь-який продукт людської діяльності економічні системи мають подвійну природу: суб'єктивну, обумовлену особистісним витвором, та об'єктивну – обумовлену громадським створенням та призначенням. Об'єктивна природа економічних систем зумовлена ще й тим, що вони живі. Вони започатковуються, народжуються, дорослішають, старіють і нарешті помирають. Їх життя часто тече непомітно, але іноді їхні кризи спричиняють драми та трагедії цілих поколінь. Для того, щоб керуючий орган обрав ту чи іншу процедуру прийняття рішень (той чи інший механізм управління, тобто залежність своїх дій від цілей економічних систем та дій керованих суб'єктів), він повинен уміти передбачати поведінку виконавців. Експериментувати в житті, застосовуючи різні керуючі впливи та вивчаючи реакцію підлеглих, не ефективно та практично ніколи не представляється можливим [1]. Тому на допомогу приходить моделювання – це побудова спрощеного образу економічної системи для дослідження її властивостей, прогнозування, планування та проведення сценарних розрахунків наслідків управлінських рішень. Модель економічної системи є відтворенням взаємозалежних елементів соціального та економічного середовища, процесів їх взаємодії та функціонування, реакції на зміну навколишнього середовища [2].

Етапність моделювання складається з: оцінки основних характеристик проєктованої та основної системи; порівняння та зіставлення кількох варіантів побудови однієї і тієї ж системи, за рахунок проведення різних експериментів з моделлю; прогнозування-оцінювання поведінки моделі у майбутньому; аналіз чутливості факторів, що найбільше впливають на поведінку показників моделі; оптимізація моделі, що забезпечить найкращі показники ефективності [2].

Отже, штучне створення середовища проживання і відтворення процесу чи об'єкта дозволяє досліднику контролювати процес моделювання, змінювати умови і, тим самим, перевіряти різні гіпотези та знаходити теоретичне пояснення для цих процесів та об'єктів [3].

## РОБОЧА НАВЧАЛЬНА ПРОГРАМА ДИСЦИПЛІНИ

Дисципліна узагальнює теоретичні, експериментальні, методичні підходи і сучасну практику в сфері дослідження економічних об'єктів і теорії прийняття рішень, моделювання управління економічними системами і процесами, а також вдосконалення їх функціонування на основі результатів формалізованого аналізу та прикладного застосування.

Компонента освітньої програми передбачає вивчення методології моделювання, моделей прийняття рішень та методів верифікації теоретико-ймовірносних та побудову теоретико-статистичних моделей, щодо оцінки прийняття управлінських рішень.

**Метою дисципліни** є вивчення та розуміння сучасних методів економіко-математичного моделювання, визначення науково обґрунтованих рекомендацій щодо шляхів, засобів і методів підвищення дієвості та ефективності економічних процесів на промислових підприємствах.

**Предметом дисципліни** є сукупність теоретико-методологічних, методичних та прикладних засад моделювання управління економічними системами і процесами.

**Компетентності**, на формування яких зорієнтована дисципліна:

- здатність виявляти, ставити та вирішувати проблеми;
- здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел;
- здатність виконувати оригінальні дослідження, досягати наукових результатів, які створюють нові знання у менеджменті і дотичних до нього міждисциплінарних напрямках;
- здатність моделювати процеси управління соціально-економічних систем, зокрема промислових підприємств, верифікувати побудовані економіко-математичні моделі емпіричними даними та проводити проблемний аналіз на їх основі.

**Результати навчання** спрямовані на формування системного мислення, опанування теоретичних знань та розвиток умінь, необхідних для управлінської, освітньої, дослідницько-інноваційної та науково-практичної діяльності, а саме:

- застосовувати сучасні інструменти і технології пошуку, оброблення та аналізу інформації, зокрема, статистичні методи аналізу даних великого обсягу та (або) складної структури, спеціалізовані бази даних та інформаційні системи;
- розробляти та досліджувати концептуальні, математичні і комп'ютерні моделі процесів і систем, ефективно використовувати їх для отримання нових знань та (або) створення інноваційних продуктів у галузі менеджменту та дотичних міждисциплінарних напрямках, у тому числі при вирішенні науково-прикладних завдань сфери менеджменту промисловими підприємствами;
- застосовувати інструментарій прикладного системного аналізу і моделювання в менеджменті промислових підприємств та їх окремих підсистем.

### **Зміст навчальної дисципліни**

Тема 1. Види моделей

Тема 2. Функції та методи моделювання

Тема 3. Моделі управління економічними системами і процесами

Тема 4. Базова модель раціональної поведінки

Тема 5. Прийняття рішень в умовах природної та ігрової невизначеності

Тема 6. Моделі ієрархії управління економічними системами і процесами

Тема 7. Теоретико-ймовірнісні моделі. Концепція моделі «чорного ящика»

Тема 8. Задачі виявлення зв'язків, класифікації, зниження розмірності простору ознак

Тема 9. Ймовірно-статистичні моделі. Верифікація моделей

## **Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)**

**Методи організації навчання (МОН):** лекції-диспути, практичні заняття із використанням сучасних інформаційно-аналітичних систем та програмного забезпечення, написання реферату, написання модульної контрольної роботи, робота з навчально-методичною літературою, самостійну роботу здобувачів, консультації викладача.

**Загальні методи навчання (ЗМН):** контекстний (інтеграція навчальної, наукової, практичної діяльності здобувачів), інтерактивний, проблемного викладу, інформаційно-рецептивний, репродуктивний, проблемно-пошуковий, евристичний.

**Спеціальні методи навчання (СМН):** діалогові технології, неімітаційні методи навчання, аналітичні та розрахункові завдання, презентації, метод індивідуальних навчально-дослідних завдань (під час виконання реферату).

**Елементи і прийоми (ЕП):** навчання через аргументацію; випадкове навчання; обчислювальне мислення; навчання займаючись наукою.

**Форми та методи оцінювання:** рейтингова система оцінювання контрольних заходів в формі тестування, дискусійного обговорення та надання відповідей на проблемні питання, виконання аналітичних та розрахункових завдань, виконання модульної контрольної роботи та індивідуального завдання в формі реферату. Підсумкове оцінювання проводиться у формі письмового екзамену.

## **Відповідність програмних результатів, методів, елементів і прийомів навчання та форм оцінювання**

<b>Програмні результати навчання</b>	<b>Методи навчання</b>	<b>Форми та методи оцінювання</b>
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
<b>РН 1</b> – застосовувати сучасні інструменти і технології пошуку, оброблення та аналізу інформації, зокрема, статистичні методи аналізу даних великого обсягу та (або) складної структури, спеціалізовані бази даних та інформаційні системи	<b>МОН:</b> лекції-диспути, практичні заняття із використанням сучасних інформаційно-аналітичних систем та програмного забезпечення, написання реферату, написання модульної контрольної роботи, робота з навчально-методичною літературою, самостійну роботу здобувачів, консультації викладача.	Рейтингова система оцінювання за тестування, відповіді на практичних заняттях, виконання аналітичних завдань, модульна контрольна робота, виконання та презентація реферату. Календарний контроль – перша й друга атестація. Підсумковий контроль – екзамен.

1	2	3
	<p><b>ЗМН:</b> контекстний, інтерактивний, проблемного викладу, інформаційно-рецептивний, репродуктивний, проблемно-пошуковий.</p> <p><b>СМН:</b> діалогові технології, аналітичні завдання, презентації, метод індивідуальних навчально-дослідних завдань (під час виконання реферату).</p> <p><b>ЕП:</b> навчання через аргументацію; випадкове навчання; обчислювальне мислення.</p>	
<p><b>РН 3</b> – розробляти та досліджувати концептуальні, математичні і комп’ютерні моделі процесів і систем, ефективно використовувати їх для отримання нових знань та (або) створення інноваційних продуктів у галузі менеджменту та дотичних міждисциплінарних напрямках, у тому числі при вирішенні науково-прикладних завдань сфери менеджменту промисловими підприємствами</p>	<p><b>МОН:</b> лекції-диспути, практичні заняття із використанням сучасних інформаційно-аналітичних систем та програмного забезпечення, написання реферату, написання модульної контрольної роботи, робота з навчально-методичною літературою, самостійну роботу здобувачів, консультації викладача.</p> <p><b>ЗМН:</b> контекстний, інтерактивний, проблемного викладу, інформаційно-рецептивний, репродуктивний, проблемно-пошуковий, евристичний.</p> <p><b>СМН:</b> діалогові технології, неімітаційні методи навчання, аналітичні та розрахункові завдання, презентації, метод індивідуальних навчально-дослідних завдань (під час виконання реферату).</p> <p><b>ЕП:</b> навчання через аргументацію; випадкове навчання; обчислювальне мислення; навчання займаючись наукою.</p>	<p>Рейтингова система оцінювання за тестування, відповіді на практичних заняттях, виконання аналітичних завдань, модульна контрольна робота, виконання та презентація реферату. Календарний контроль – перша й друга атестація. Підсумковий контроль – екзамен.</p>

1	2	3
<p><b>PH 10</b> – застосовувати інструментарій прикладного систе много аналізу і моделювання в менеджменті промислових підприємств та їх окремих підсистем</p>	<p><b>МОН:</b> лекції-диспути, практичні заняття із використанням сучасних інформаційно-аналітичних систем та програмного забезпечення, написання реферату, написання модульної контрольної роботи, робота з навчально-методичною літературою, самостійну роботу здобувачів, консультації викладача.</p> <p><b>ЗМН:</b> контекстний, інтерактивний, проблемного викладу, інформаційно-рецептивний, репродуктивний, проблемно-пошуковий, евристичний.</p> <p><b>СМН:</b> діалогові технології, неімітаційні методи навчання, аналітичні завдання, презентації, метод індивідуальних навчально-дослідних завдань (під час виконання реферату).</p> <p><b>ЕП:</b> навчання через аргументацію; випадкове навчання; обчислювальне мислення; навчання займаючись наукою.</p>	<p>Рейтингова система оцінювання за тестування, відповіді на практичних заняттях, виконання аналітичних завдань, модульна контрольна робота, виконання та презентація реферату. Календарний контроль – перша й друга атестація. Підсумковий контроль – екзамен.</p>

### **Тематика та структурно-логічна побудова курсу**

**Аудиторні заняття.** Навчальним планом передбачено проведення 36 годин аудиторних занять – 18 годин лекційних занять (Л) один раз на два тижні та 18 годин практичних занять (П) один раз на два тижні.

**Самостійна робота.** Навчальним планом передбачено 84 години самостійної роботи здобувачів (СР). На неї виноситься поглиблене вивчення дисципліни шляхом опрацювання лекційних матеріалів, літературних та інших інформаційних джерел, виконання аналітичних завдань, підготовка та презентація реферату, підготовка до модульної контрольної роботи та складання екзамену.

Тиждень навчання	Назва розділів, тем	Розподіл годин			Опис занять	Контрольні заходи	РН ЗК СК
		Л	П	СР			
1	2	3	4	5	6	6	7
1-2	<b>Тема 1.</b> Види моделей	2	2	4	<b>Л:</b> Пізнавальні та прагматичні моделі	Опитування, оцінювання виконання аналітичних завдань	РН03 РН10 ЗК01 СК01 СК06
					<b>П:</b> Опрацювання прямої і оберненої дослідницьких задач		
					<b>СР:</b> Підготовка до опитування на аудиторному занятті: Системи і моделі		
3-4	<b>Тема 2.</b> Функції та методи моделювання	2	2	4	<b>Л:</b> Дискриптивна, прогностична і нормативна функції моделювання	Опитування, оцінювання виконання аналітичних завдань	РН03 РН10 ЗК01 СК01 СК06
					<b>П:</b> Опрацювання взаємозв'язків функції моделювання		
					<b>СР:</b> Підготовка аналітичної доповіді: Імітаційне моделювання та ділові ігри		
5-6	<b>Тема 3.</b> Моделі управління економічними системами і процесами	2	2	4	<b>Л:</b> Моделі управління складними ієрархічними структурами	Опитування, оцінювання виконання аналітичних завдань	РН03 РН10 ЗК01 СК01 СК06
					<b>П:</b> Опрацювання постановок і рішень задач управління підприємства, як економічною системою, та його процесами		
					<b>СР:</b> Підготовка до опитування на аудиторному занятті: Багатокритеріальне прийняття рішень		
7-8	<b>Тема 4.</b> Базова модель раціональної поведінки	2	2	4	<b>Л:</b> Модель переваги, що моделюється на основі функції корисності	Опитування, оцінювання виконання аналітичних завдань	РН03 РН10 ЗК01 СК01 СК06
					<b>П:</b> Опрацювання моделей максимізації функції корисності на промисловому підприємстві		
					<b>СР:</b> Підготовка аналітичного завдання для розгляду на занятті: Теорія вибору		
9	Модульна контрольна робота		2	6	<b>П:</b> Виконання письмової контрольної роботи	Виконання теоретичного, аналітичного завдання, тестування	Всі за темами 1-4
					<b>СР:</b> підготовка до контрольної роботи		

1	2	3	4	5	6	6	7
10-11	<b>Тема 5.</b> Прийняття рішень в умовах природної та ігрової невизначеності	2	1	4	<b>Л:</b> Прийняття рішень в умовах природної і ігрової невизначеності.	Опитування, оцінювання виконання аналітичних завдань	РН03 РН10 ЗК01 СК01 СК06
					<b>П:</b> Прийняття рішень в умовах інтервальної ймовірностно-нечіткої невизначеності. Ігрова невизначеність		
					<b>СР:</b> Підготовка аналітичного завдання для розгляду на занятті: Нечіткі множини		
11-12	<b>Тема 6.</b> Моделі ієрархії управління економічними системами і процесами	2	1	4	<b>Л:</b> Загальні моделі ієрархії управління промисловим підприємством	Опитування, оцінювання виконання аналітичних завдань	РН03 РН10 ЗК01 СК01 СК06
					<b>П:</b> Опрацювання секційних функцій затрат на промисловому підприємстві		
					<b>СР:</b> Підготовка навчально-дослідного завдання: Мережеві і ієрархічні організаційні структури		
13-14	<b>Тема 7.</b> Теоретико-ймовірнісні моделі. Концепція моделі «чорного ящика»	2	1	4	<b>Л:</b> Визначення математичної моделі. Визначення теоретико-ймовірнісної моделі. Представлення економічної системи у вигляді моделі «чорного ящика». Поняття стохастичного ансамблю. Логіко-алгебраїчні підходи до аналізу даних	Опитування, оцінювання виконання аналітичних завдань	РН01 РН03 РН10 ЗК01 СК01 СК06
					<b>П:</b> Межі застосування теоретико-ймовірнісного та логіко-алгебраїчного підходів		
					<b>СР:</b> Підготовка аналітичного завдання для розгляду на занятті: Приклади імплементації моделі «чорного ящика» для різних економічних систем		
15-16	<b>Тема 8.</b> Задачі виявлення зв'язків, класифікації, зниження розмірності простору ознак	2	2	4	<b>Л:</b> Задачі виявлення зв'язків та їх структури для економічних систем. Задачі класифікації для економічних систем. Задачі виявлення латентних та найбільш впливових факторів, щодо функціонування економічних систем. Зниження розмірності простору ознак	Опитування, оцінювання виконання розрахункових завдань	РН01 РН03 РН10 ЗК01 ЗК02 СК01 СК06
					<b>П:</b> Приклади вирішення задач виявлення зв'язків, класифікації, зниження розмірності простору ознак за допомогою SPSS та мови R		

1	2	3	4	5	6	6	7
					<b>СР:</b> Підготовка аналітичного завдання для розгляду на занятті: Підбір аналітичного інструментарію у відповідності до шкал, якими вимірюються вхідні та вихідні дані в моделях		
17-18	<b>Тема 9.</b> Ймовірісно-статистичні моделі. Верифікація моделей	2	2	4	<b>Л:</b> Оцінка параметрів ймовірісно-статистичної моделі. Метод найменших квадратів. <b>П:</b> Приклади оцінки параметрів ймовірісно-статистичної моделі за допомогою SPSS <b>СР:</b> Підготовка аналітичного завдання для розгляду на занятті: Інтерпретація вікон виводу в SPSS в задачах оцінки параметрів	Опитування, оцінювання виконання розрахункових завдань	РН1 РН3 РН10 ЗК01 ЗК02 СК01 СК06
2-17	Реферат		1	12	<b>П:</b> Презентації індивідуальних завдань <b>СР:</b> підготовка реферату за однією із запропонованих тем або за обраною темою, близькою до теми дисертації	Виконання та, презентація реферату	Всі з курсу
Сесія	Екзамен			30	<b>СР:</b> підготовка до письмового екзамену	Виконання теоретичного, аналітичного завдання, тестування	Всі з курсу
<b>Всього</b>		<b>18</b>	<b>18</b>	<b>84</b>			

### **Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)**

**Відвідування занять та норми поведінки.** Відвідування занять є вільним, бали за присутність на лекція та практичних заняттях не додаються. Втім, частина рейтингу здобувача формується через участь у заходах на практичних заняттях, а саме за участі у виконанні аналітичних завдань, аналізі проблемних ситуацій, груповій та індивідуальній роботі. Тому пропуск практичного заняття знижує можливість здобувача отримати рейтингові бали. Користуватись мобільним телефоном на заняттях можна лише у беззвучному режимі. Норми етичної поведінки визначені у Кодексі честі (<https://kpi.ua/code>). В університеті здобувачі мають поводити себе відповідно до Правил внутрішнього розпорядку (<https://kpi.ua/admin-rule>).

**Контрольні заходи.** Контроль здійснюється відповідно до Положення про поточний, календарний та семестровий контроль результатів навчання

(<https://kpi.ua/files/n3277.pdf>). Ключовими контрольними заходами є ті, які формують рейтинг здобувача. Семестровий рейтинг з дисципліни формується за РСО-2 відповідно до Положення про систему оцінювання результатів навчання (<https://osvita.kpi.ua/node/32>) через виконання завдань та проходження контрольних заходів, визначених в п. 8 силабусу. Якщо контрольні заходи пропущені з поважних причин (хвороба або вагомі життєві обставини), здобувачу надається можливість додатково скласти контрольне завдання протягом найближчого тижня або відпрацювати за рахунок виконання індивідуальних завдань. В разі порушення термінів і невиконання завдань з неповажних причин, здобувач не допускається до складання екзамену в основну сесію.

Індивідуальним завданням з курсу є реферат. Завдання та рекомендації щодо методичних порад надаються здобувачам на першому практичному занятті. Закінчений і належним чином оформлений реферат завантажується на платформу дистанційного навчання «Сікорський» згідно плану навчальної дисципліни. Презентація реферату відбувається через тиждень після його представлення. Протягом тижня викладач перевіряє роботу, і якщо вона не відповідає встановленим вимогам, повертає її на доробку. Презентація реферату відбувається на останньому практичному занятті семестру. Процедура презентації реферату складається із: стислого повідомлення автора відносно виконаної роботи (тема, основні питання, що вивчалися, та отримані результати); відповідей на запитання викладача; бального оцінювання реферату відповідно рейтингової системи оцінювання навчальної дисципліни.

**Заохочувальні та штрафні бали.** Заохочувальні бали здобувач може отримати за участь у конкурсах наукових робіт за тематикою дисципліни або за поглиблене вивчення окремих тем, результати якого представлені у вигляді наукових тез, есе, презентації, наукової статті тощо. Штрафні бали нараховуються за несвоєчасне виконання індивідуального семестрового завдання. Заохочувальні та штрафні бали не входять до основної шкали РСО, а їх максимальна сума складає 5 балів.

**Дистанційний режим навчання.** У разі запровадження обмежень на відвідування університету, пов'язаних з введенням карантину або режиму воєнного стану в державі, освітній процес проваджується у дистанційному режимі відповідно до Положення про дистанційне навчання в КПІ ім. Ігоря Сікорського (<https://osvita.kpi.ua/index.php/node/188>), Регламенту організації освітнього процесу в дистанційному режимі (<https://profkom.kpi.ua/reglament-organizatsiyi-osvitnogo-protsesu-v-distantiynomu-rezhimi>) та Регламенту проведення семестрового контролю в дистанційному режимі (<https://osvita.kpi.ua/node/148>).

Дистанційний курс розміщено на Платформі дистанційного навчання «Сікорський» (<https://www.sikorsky-distance.org>). Дистанційні заняття проводяться у вигляді онлайн-конференції з використанням програми для організації відеоконференцій Zoom. Посилання на конференцію надається здобувачам на початку семестру. Результати оцінювання висвітлюють у АС «Електронний кампус» на особистій сторінці здобувача (<https://ecampus.kpi.ua>).

**Оскарження результатів контрольних заходів.** У випадку незгоди здобувача з оцінкою за результатами контрольного заходу, він має право подати апеляцію у день оголошення результатів на ім'я декана факультету за процедурою визначеною Положенням про апеляції (<https://osvita.kpi.ua/index.php/node/182>).

**Визнання результатів навчання, набутих у неформальній або інформальній освіті.** Порядок визнання таких результатів регламентується Положенням про визнання результатів навчання, набутих у неформальній / інформальній освіті (<https://osvita.kpi.ua/index.php/node/179>). Можуть бути зараховані окремі теми дисципліни. В такому разі здобувач звільняється від виконання відповідних завдань, отримуючи за них максимальний бал відповідно до рейтингової системи оцінювання.

**Академічна доброчесність.** При оцінюванні робіт здобувачів особлива увага приділяється дотриманню політики академічної доброчесності (<https://kpi.ua/academic-integrity>). В разі виявлення дублювання робіт, такі роботи отримують нульовий рейтинг. При виявленні значного рівня запозичень в рефераті

або інших роботах без належного цитування, роботи не оцінюються і повертаються здобувачу на доопрацювання.

## **Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (PCO)**

### **Контрольні заходи та критерії їх оцінювання:**

Оцінювання передбачає застосування рейтингової системи другого типу згідно Положення про систему оцінювання результатів навчання в КПІ ім. Ігоря Сікорського (PCO-2) (<https://osvita.kpi.ua/node/37>).

Розмір стартової складової дорівнює 50 балів, екзаменаційної складової – 50 балів. Максимальний сумарний рейтинг за курс – 100 балів. Нижня межа позитивного оцінювання кожного контрольного заходу складає 60% від його рейтингового балу.

### **Контрольні заходи:**

- відповіді на практичних заняттях з лекційного матеріалу (опитування) та участь у дискусії за результатами опрацювання аналітичних завдань, проблемних ситуацій;
- модульна контрольна робота;
- реферат;
- екзамен.

### **Критерії нарахування балів заходів поточного контролю:**

*1. Відповіді на практичних заняттях:* відповіді на запитання з теми лекції, участь в дискусіях, обговореннях проблемних ситуаціях, відповіді на аналітичні завдання, вирішення розрахункових завдань, під час усного опитування (4 відповіді – max 20 балів). *Розрахунок за одну відповідь:*

- 5 балів – Активна робота, повні відповіді під час опитування
- 3-4 бали – Робота з доповненням до відповідей інших здобувачів
- 0 балів – Пасивність

2. *Модульна контрольна робота*: модульна контрольна робота складається з: теоретичного питання (одне питання 2 бали), тестових завдань (5 тестів, 1 бал кожний); аналітичного завдання (3 бали). (має 10 балів)

*Розрахунок балів за модульну контрольну роботу:*

- 9-10 балів – 1) викладено питання всебічно, безпомилково і логічно;  
2) виконано тестові завдання правильно;  
3) аналітичне завдання виконане правильно, результати обґрунтовані
- 7-8 балів – 1) викладено питання безпомилково, достатньо повно і без ознак плагіату;  
2) тестові завдання виконано з 2 помилками;  
3) витримано логіку вирішення аналітичного завдання, але припущено несуттєвих помилок
- 6 балів – 1) викладено питання не повністю, основні аспекти розкрито;  
2) виконано не всі тестові завдання правильно;  
3) допущено помилки при виконанні аналітичного завдання, відповідь не обґрунтована, завдання виконане на основі припущень
- 0 балів – Завдання контрольної роботи не виконані, або виконані неправильно

3. Виконання *реферату*: виконується за наданим переліком тем або за запропонованою темою здобувачем, узгодженою з викладачем та науковим керівником. Максимальні бали отримуються у разі дотримання доброчесності, наявності творчого підходу до розкриття теми, з опрацюванням не менше 30 джерел, наявності узагальнень, аналітичних обґрунтувань, відображення власної позиції автора реферату та обов'язковими висновками. (має 20 балів).

*Розрахунок балів за виконання реферату:*

- 19-20 балів – Присутній творчий підхід до розкриття теми, розкриття теми глибоке, відображена власна наукова позиція
- 17-18 балів – Глибоке розкриття теми, однак власна наукова позиція відображена не досить обґрунтовано
- 15-16 балів – Розкриття теми обґрунтовано з певними недоліками, опрацьований матеріал та літературні джерела є недостатніми для глибоко розкриття теми
- 12-14 балів – Завдання виконане, однак тему розкрито не достатньо глибоко, власна наукова позиція не відображена, відсутні власні висновки та обґрунтування
- 0 балів – Реферат не захищено, наявний плагіат, тему не розкрито

## **Критерії нарахування балів семестрового контролю (письмовий екзамен):**

Умовою допуску до складання підсумкового екзамену є стартовий рейтинг (п. 1-3 ) не менше 30 балів.

Білет екзаменаційної роботи складається з трьох частин (max 50 балів):

– теоретичні питання (2 питання по 10 балів) мають на меті виявити рівень знання матеріалу в цілому:

9-10 балів – Відповідь на питання викладено правильно, всебічно, безпомилково і логічно

7-8 балів – Відповідь на питання викладено не достатньо повно, проте основні аспекти розкрито

6 балів – Відповідь не розкриває ключових елементів у викладі, здебільшого ґрунтується на власних припущеннях або розмірковуваннях, а не знанні матеріалу

0 балів – Не має відповіді

– тестові завдання (10 завдань) демонструють глибину знань про теоретичні засади дисципліни, належать до тестів закритої форми, мають декілька запропонованих відповідей, з яких обирається одна правильна:

1 бал – Відповідь вірна

0 балів – Відповідь не вірна

– аналітичне завдання. Передбачає виконання одного завдання:

19-20 балів – Продемонстровано знання матеріалу і вдало його застосовано для аналізу та доведення аналітичного завдання, наведено висновки з застосуванням набутих знань та вмінь

15-18 балів – Аналітичне завдання пояснене вірно, логічно, однак не наведено висновків за результатами або допущено помилки у твердженнях, поясненнях або доведенні

12-14 балів – Аналітичне завдання виконане, але визначене рішення не містить чітких обґрунтувань відповідних набутих навичкам пройденому курсу

0 балів – Завдання не виконано

## Відповідність рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:

<i>Кількість балів</i>	<i>Оцінка</i>
100-95	Відмінно
94-85	Дуже добре
84-75	Добре
74-65	Задовільно
64-60	Достатньо
Менше 60	Незадовільно
Не виконані умови допуску	Не допущено

### Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

1. Перелік тем для виконання реферату (додаток А);
2. Перелік питань, які виносяться на семестровий контроль (додаток Б);
3. Можливість зарахування сертифікатів проходження дистанційних чи онлайн курсів за відповідною тематикою (як пропозиція: «Візуалізація даних» Prometheus).

### Список рекомендованої літератури

#### *Базова література*

1. Моделювання економічних систем і процесів: навчально-методичний комплекс: навч. посіб. для аспірантів спеціальності 075 «Маркетинг» / Капустян В.О., Мажара Г.А., Солнцев С.О.; КПІ ім. Ігоря Сікорського. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 46 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/47794>
2. Капустян В.О., Мажара Г.А., Фартушний І.Д. Моделювання економіки. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 265 с.
3. Математичне моделювання для економістів: бакалавр-магістр-доктор філософії (PhD) : навч.посібник / за ред. Ю.Г. Козак, В.М. Мацкул В.М. Київ : Центр учб. л-ри, 2019. 254 с.
4. Диха М. В., Мороз В. С. Економетрія. Київ: Центр навчальної літератури, 2019. 206 с.

#### *Допоміжна література*

1. Дубовой В.М., Кветний Р.Н., Михальов О.І., Усов А.В. Моделювання та оптимізація систем : підручник. Вінниця : ПП «ТД«Еднльвейс», 2017. 804 с.

2. Математичне моделювання / А. М. Самойленко [та ін.]. Київ : Наукова думка, 2015. 327 с.
3. Вовк Л.В. Математичний інструментарій моделювання економічних процесів : навч. посіб. Київ: Ліра-К, 2017. 252 с.
4. Кравченко М.О. Системно-структурна концепція економічної стійкості підприємств : монографія. Київ : ПП Вишемирський В. С., 2017. 460 с.
5. Жигалкевич Ж.М. Цільові орієнтири розвитку квазіінтеграційних структур взаємодіючих підприємств. Херсон: ПП Вишемирський, 2020. 348 с. С. 176-303.
6. Островський П.І., Гострик О.М., Добрунік Т.П., Радова О.В. Моделювання економічних процесів: навч. посібник. Одеса: ОНЕУ, 2012. 132 с.
7. Nokeri T. C. Econometrics and Data Science. Apply Data Science Techniques to Model Complex Problems and Implement Solutions for Economic Problems. Apress, 2022, 228 p.
8. Ghatak R., People Analytics, Management for Professionals - Springer Nature Singapore Pte Ltd. - 2022.- 243 p.
9. Солодкий В.О., Красовський В.Р. Моделі і методи прийняття рішень в економіці підприємства : навч. посіб. Рівне: НУВГП, 2012. 133 с.
10. Раєвнева О. В., Чанкіна І. В. Моделі управління розвитком промислового підприємства в умовах трансформаційної економіки: Монографія. Харків: ВД «ІНЖЕК», 2013. 264 с.

### ***Інформаційні ресурси***

1. Економічний вісник НТУУ «КПІ». Фахове видання. URL : <http://ev.fmm.kpi.ua/index>
2. Моделювання та інформаційні системи в економіці. Фахове видання. URL : [https://kneu.edu.ua/uaUniversity\\_en/periodic/zb\\_mise/](https://kneu.edu.ua/uaUniversity_en/periodic/zb_mise/)
3. Інститут економіки і прогнозування НАН України. URL: <https://www.nas.gov.ua/UA/Org/Pages/default.aspx?OrgID=0000034>
4. Платформа дистанційного навчання «Сікорський». <https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=6647>

## ЗМІСТ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ ТЕМ

### *Тема 1. Види моделей*

Модель – образ деякої системи; аналог (схема, структура, знакова система) певного фрагмента природної чи соціальної реальності, «заступник» оригіналу у пізнанні та практиці [1].

Модель (в математиці та економіці) – логічний або математичний опис компонентів і функцій, що відображають істотні властивості модельованого об'єкта або процесу (зазвичай розглядаються як системи чи елементи системи). Модель використовується як умовний образ об'єкта, сконструйований для спрощення його дослідження [4, С. 204].

В описі систем використовують різні моделі, їх вибір залежить від мети дослідження. Модель являє собою спрощену теоретичну конструкцію реальної дійсності, що відображає ті основні властивості досліджуваного об'єкта, які необхідно описати в відповідності до завдань дослідження. Як правило, моделлю описуються частини досліджуваної системи, виникаючі в ній функції, зовнішні зв'язки, а також зв'язки між елементами системи. Число цих складових має бути логічно обмежено, оскільки в іншому випадку втрачається сам сенс «моделювання» – спрощення сприйняття реального об'єкта.

Моделювання – побудова і вивчення моделей реально існуючих предметів і явищ, а також взаємодії та взаємозв'язку компонентів об'єкта. Моделювання є потужним знаряддям наукового пізнання та вирішення практичних завдань і широко використовується як в науці, так і в багатьох сферах виробничої діяльності. Воно ґрунтується на принципі аналогії та надає можливість (при певних умовах і з урахуванням неминучої відносності аналогії) вивчати взаємодію компонентів об'єкта, з певних обмежень важко доступного для вивчення, не безпосередньо, а через розгляд іншого, подібного йому і більш доступного об'єкта – моделі. Властивості моделі надають можливість судити про риси поєднання компонентів об'єкта дослідження: не про всі, а лише про ті, які аналогічні і в моделі, і в об'єкті, та при цьому важливі для дослідження (такі властивості називаються суттєвими) [5].

Моделі поділяються на пізнавальні та прагматичні («практичні») [6]. Пізнавальні моделі – це ймовірні образи майбутнього наукового знання, тобто наукові гіпотези. Прагматичні моделі відображають не існуюче (на практиці), але бажане і, можливо, здійснене (образ майбутньої системи). Дослідження моделі може являти собою аналіз (пряме і зворотне завдання) або імітацію (тільки пряме завдання), тобто математичне моделювання можна поділити на аналітичне та імітаційне [7].

Прагматичні моделі є способом організації (подання) зразково правильних дій та їх результатів, тобто є робочим уявленням, уявним зразком майбутньої системи. Прикладами прагматичних моделей можуть бути будь-які проекти, плани та програми дій, статuti організацій, посадові інструкції, кодекси законів, робочі креслення, екзаменаційні вимоги тощо [1].

Пізнавальне моделювання включає два етапи: побудова і дослідження моделі. Розрізняють пряме та зворотне дослідницькі завдання. Пряме завдання – за явним описом моделі (функціональні чи алгоритмічні залежності між змінними та параметрами, їх величини) знаходяться її «неявні» властивості (приховані залежності між змінними та параметрами, їх величини, динамічні властивості, поведінка тощо). Зворотне завдання (ідентифікація) – за заданими (бажаними, проєктованими) властивостями моделі знаходиться її явний опис. Традиційне обернене завдання – оптимізація (пошук значень змінних та/або параметрів, що відповідають оптимальним рішенням, тобто оптимальним значенням деяких функцій). Дослідження моделі може являти собою аналіз (пряме і зворотне завдання) або імітацію (тільки пряме завдання), тобто математичне моделювання можна поділити на аналітичне та імітаційне [7].

Для аналітичного моделювання характерно те, що всі системні зв'язки та процеси записуються у вигляді деяких функціональних співвідношень (наприклад, рівнянь – алгебраїчних, диференціальних, інтегральних тощо) або логічних умов [1].

Для імітаційного моделювання характерне дослідження окремих сценаріїв або траєкторій динаміки системи, що моделюється, з використанням чисельних або

логічних методів. Його сильною стороною є можливість дослідження дуже складних моделей, слабкою – неможливість дослідження зворотних завдань та стійкості [1].

Моделі також поділяються на абстрактні (ідеальні) та матеріальні (реальні, речові). Абстрактні моделі є ідеальними конструкціями, побудованими засобами мислення, свідомості. Анотація моделі є мовними конструкціями. Вони можуть формуватися та передаватися іншим людям засобами різних мов, мов різних рівнів спеціалізації [1].

Всі економічні системи є об'єктивною реальністю. Тому говорячи про ідеальну екосистему, маємо на увазі цілковиту абстракцію. Екосистема, як абстракція з реально існуючих систем, виконує важливу методологічну та методичну функції, це є:

- 1) концептуальною схемою, відповідно до основних компонент якої здійснюється емпіричне вивчення системи і конструювання її реальної моделі;
- 2) еталоном, з яким зіставляється реальна модель і виявляється характер та міра її узгодженості;
- 3) теоретичною передумовою для подальшого встановлення чинників ентропії, що викликають розбіжності ідеальної та реальної моделі, і розробки заходів щодо їх блокування, скорочення або усунення.

Початково реальна ситуація не може розглядатися як ідеальна модель, інакше дослідження набуває описового характеру і не виконує оцінювально-корегуючої функції. В процесі дослідження первинна ідеальна модель реконструюється, збагачується, поглиблюється. В неї вводиться вплив таких реальних чинників, як дійсний стан галузі, підтримка з боку державних органів влади, конкретні умови ефективності реалізації різних проектів тощо [8].

## ***Тема 2. Функції та методи моделювання***

До основних функцій моделювання віднесено дескриптивну, прогностичну та нормативну.

Дескриптивна функція полягає в тому, що за рахунок абстрагування моделі дозволяють досить просто пояснити явища і процеси, що спостерігаються на

практиці (іншими словами, вони дають відповідь на питання «чому так?»). Успішні в цьому плані моделі стають компонентами наукових теорій і є ефективним засобом відображення змісту останніх (тому пізнавальну функцію моделювання можна розглядати як складову дескриптивної функції) [1].

Прогностична функція моделювання відбиває його можливість передбачати майбутні властивості та стани модельованих систем, тобто відповідати питанням «що буде?» [1].

Нормативна функція моделювання полягає у отриманні відповіді на питання «як має бути?» – якщо, крім стану системи, задані критерії оцінки її стану, то за рахунок використання оптимізації можливо не тільки описати існуючу систему, але й побудувати її нормативний образ – бажаний з точки зору суб'єкта, інтереси та переваги якого відображені критеріями, що використовуються [1].

Нормативна функція моделювання тісно пов'язана з вирішенням завдань управління, тобто, з відповіддю на запитання «як досягти бажаного (стану, властивостей системи тощо)?» [1].

Загальною методологією дослідження (моделювання) складних систем є системний підхід та сформований на його основі системний аналіз.

Системний підхід – це підхід, при якому будь-яка система (об'єкт) розглядається як сукупність взаємопов'язаних елементів (компонентів), що має вихід (ціль), вхід (ресурси), зв'язок із зовнішнім середовищем, зворотний зв'язок [9, с. 26]. В основі системного підходу лежить ідея декомпозиції та інтеграції системи, її підсистем і елементів при аналізі взаємозв'язків організації із зовнішнім середовищем та прийнятті управлінських рішень, що забезпечують комплексний підхід до її функціонування та отримання бажаного результату з урахуванням сукупного впливу зовнішніх і внутрішніх факторів [10, с. 580].

Таким чином, системний підхід до розвитку економічних систем можна розглядати як логічно несуперечливий метод зведення здебільшого складної проблеми до простого результату, який може бути використаний для прийняття більш якісного рішення. Це дозволить зосереджуватися на рішенні найбільш важливих проблем та послаблювати увагу до тих питань, що можуть бути

досліджені методами системного аналізу. Таке поєднання наукових методів і інтуїції дає можливість аналізувати взаємозалежності різних функціональних напрямків діяльності [на основі: 11, с. 35].

Декомпозиція екосистем, що реалізується в рамках системного підходу, є основним способом, що дозволяє проникнути в сутність конкретного об'єкта, проблеми, не порушуючи комплексного підходу при формуванні управлінських рішень. Системний підхід дозволяє враховувати взаємозв'язок між елементами системи і конкретними факторами зовнішнього середовища в їх взаємозв'язку.

Декомпозиція та структуризація системи, її підсистем і елементів в поєднанні з інтеграцією оцінки наслідків прийнятих рішень є головними інструментами системного підходу при складній роботі з екосистемою [10].

Важливим завданням системного підходу до планування розвитку екосистем і процесів є вироблення нового принципу його використання – створення нового, єдиного і більш оптимального підходу (загальної методології) до пізнання та його застосування з метою отримання найповнішого і цілісного уявлення про систему. Зазначене можливе на основі використання системного аналізу – в загальному розумінні, додатку системних концепцій до функцій управління, пов'язаних з плануванням [11].

Передумови використання системного аналізу наступні [12, с.18-19]:

- застосовується в тих випадках, коли завдання (проблема) не може бути відразу представлене за допомогою формальних, математичних методів, тобто має місце велика початкова невизначеність проблемної ситуації;
- приділяє увагу процесу постановки задачі і використовує не тільки формальні методи, а й методи якісного аналізу;
- допомагає організувати процес колективного прийняття рішення, об'єднуючи фахівців різних знань;
- досліджує процеси цілеутворення та займається розробкою та застосуванням засобів роботи з цілями;

– використовує в якості методу дослідження розчленування великої невизначеності на більш доступні, які краще підлягають вивченню, при збереженні цілісного уявлення про об'єкт вивчення і проблемної ситуації.

Системний аналіз передбачає [11, с. 43-44]:

- 1) систематичне дослідження і взаємне порівняння тих альтернативних дій, які призводять до досягнення бажаних цілей;
- 2) порівняння альтернатив на основі вартості витрачених ресурсів і вигод, що досягаються по кожній з альтернатив;
- 3) облік і докладний аналіз невизначеностей.

Зазвичай до наукових інструментів системного аналізу відносять методи [13, с.106]:

- теорії дослідження операцій, що дають змогу розробляти кількісні рекомендації, необхідні при плануванні й організації цілеспрямованих дій;
- аналізу систем, що використовуються для визначення завдань і вибору шляхів розвитку організаційних систем, оцінювання їхньої поведінки в умовах невизначеності;
- системотехніки – методи проектування й синтезу складних систем у результаті вивчення способів функціонування їх елементів.

У роботі [62, с. 262] виділено основні методи, що застосовуються у аналізі економічних систем (рис. 1).

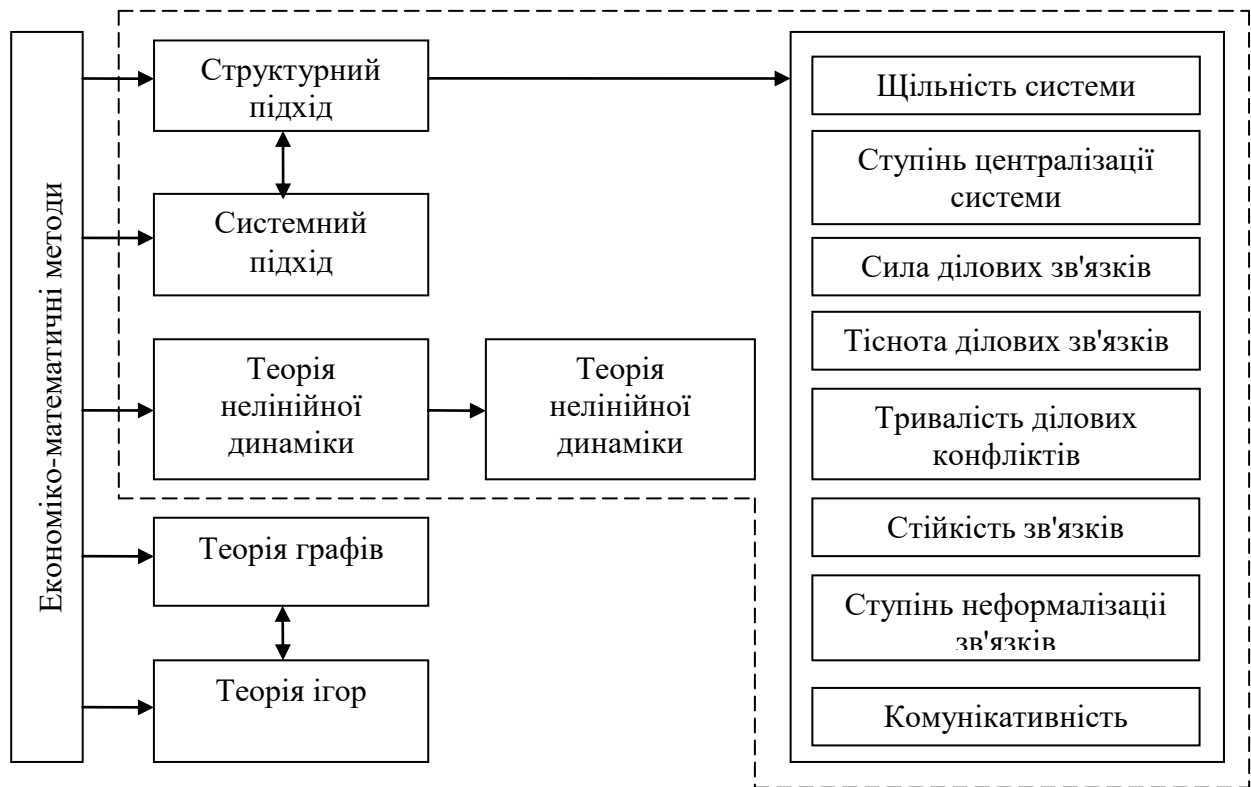


Рисунок 1 – Методи, що застосовують у аналізі мережевих структур

Джерело: [14, с. 262]

Методи (види) моделювання систем класифікуються за цілої низки підстав [15]. Серед них можна, наприклад, виділити:

- методи якісні та кількісні;
- методи, що використовують засоби природної мови, та методи, що використовують спеціальні мови;
- методи змістовні та формальні.

Якісні (змістовні) методи, тобто побудовані на основі великого емпіричного матеріалу, його глибокого аналізу та широкого узагальнення, моделі менеджменту є головним джерелом математичних моделей функціонування організацій. На її основі конструюються цільові функції, безлічі допустимих станів, структур, механізми управління, правила взаємодії із зовнішнім середовищем тощо. Вони є первинною основою перевірки адекватності математичних моделей: результати кількісного моделювання повинні відповідати результатам якісного моделювання, що послужили їм джерелом. До таких якісних методів віднесено моделі життєвого

циклу організації І. Адізеса [16] та моделі організаційної структури К. Мінцберга [17].

До кількісних методів моделювання управління економічними системами і процесами віднесено математичні методи, включаючи комп'ютерне моделювання.

Під математичним моделюванням розумітимемо процес встановлення відповідності даному реальному об'єкту деякого математичного об'єкта, званого математичною моделлю, і дослідження цієї моделі, що дозволяє встановлювати її властивості, що характеризують, зрештою, властивості об'єкта, що моделюється [1].

Вид математичної моделі залежить від природи реального об'єкта, завдань дослідження, необхідної достовірності та точності вирішення цих завдань, нарешті, від смаку та кваліфікації дослідника. Будь-яка математична модель визначає реальний об'єкт лише з деякою мірою наближення до дійсності [1].

### ***Тема 3. Моделі управління економічними системами і процесами***

Моделювання організації на рівні керованої системи вимагає створення моделі управління. Складна ієрархічна структура організацій, різноманітність видів, методів, стилів, форм управління призвели до такої ж різноманітності відповідних моделей. Саме моделі управління найчастіше становлять основний зміст моделей організацій.

Управління – «вплив на керовану систему з метою забезпечення необхідної її поведінки» [7, С. 9].

Завданням управління в межах економічних систем є досягнення організаційної ефективності та результативності шляхом узгодження та проектування інформаційних потоків й потоків ресурсів.

Як вже зазначалося у попередніх темах, управління екосистемами базується на вивченні системних ефектів. Системний підхід до вивчення розвитку таких структур досить успішно може обґрунтовувати якісні управлінські рішення. Засновниками сучасної теорії систем можна вважати російського вченого-енциклопедиста, лікаря Богданова А.А. (Малиновський А.А.), який представив основні положення своєї теорії в роботі «Allgemeine organisationstehre (Tektologic)» [18] і австрійського

біолога фон Бергаланфі К.Л. [19]. Однією з перших класифікацій систем став поділ систем на замкнуті і відкриті. Замкнені системи характеризуються відсутністю обміну з навколишнім середовищем, тобто ізольовані від зовнішнього світу. Ця властивість становить суть першого закону термодинаміки, який пояснює, що замкнуті системи зберігають енергію і, отже, не обмінюються енергією з навколишнім середовищем. Другий же початок термодинаміки стверджує, що в замкнутих системах ентропія зростає до тих пір, поки не досягне максимуму [20].

Під впливом випадкових факторів (флуктуацій) замкнута система не може перейти в більш організований стан, втрачає свою організацію в результаті зростання ентропії. Це обумовлює прагнення замкнутих систем прийняти незмінне стійке положення з максимальною ентропією. Тому структури в замкнутих системах розпадаються та система стає однорідною, що призводить до елімінації розвитку системи. Таким чином, у замкнутих системах відсутній розвиток і, отже, закони функціонування закритих систем не можуть пояснити морфогенез нових структур.

У своїх роботах фон Бергаланфі К. Л. [21] ввів поняття «відкритої системи», які, на відміну від замкнутих, постійно обмінюються речовиною, енергією та інформацією з навколишнім середовищем [22]. Цей обмін компенсується збільшенням ентропії та дозволяє розвиватися в напрямку зростання складності системи, припускаючи виникнення станів нерівноваги, іншими словами – нестабільності. У 1952 р англійський математик Алан Тьюринг [23] зробив припущення, що термодинамічні нестабільності характерні для систем, що самоорганізуються, яке підтвердилося численними емпіричними фактами. Ці закономірності для неживої природи виявилися справедливими й для соціально-економічних систем.

Об'єкти неживої природи часто можуть бути описані за допомогою «жорстких» причинно-наслідкових моделей, оскільки властивості таких об'єктів дозволяють з достатньою точністю виміряти їх початкові умови і параметри. При вивченні соціально-економічних систем виникають проблеми виміру її початкових умов і параметрів, так як значна частина даних отримується внаслідок різних опитувань, тестів, непрямих методик вимірювань. Отже, при описанні гуманітарних

систем за допомогою математичних рівнянь необхідно враховувати той факт, що неточність в завданні початкових умов і параметрів системи призводить до різних рішень рівнянь, які викривляють реальне функціонування системи. Проте, існують моделі, що дозволяють без точного знання функцій, які описують систему, робити змістовні висновки про загальні властивості функціонування системи (тенденції розвитку, особливості перехідних станів системи, характер структурно-функціональних взаємодій тощо). Це, так звані, «м'які» моделі, принциповою особливістю яких є збереження якісних висновків (незмінність топологічного типу системи), не дивлячись на неточності вимірювань. У той же час, «жорсткі» моделі є джерелом помилкових передбачень поведінки системи, на які вказував Арнольд В. І. [13]. Зазначене працює на користь «м'яких» моделей у дослідженні динаміки соціально-економічних систем, що будуть розглядатися нижче.

Завдання управління формально може бути сформульована наступним чином: знайти допустимі керуючі дії, що мають максимальну ефективність (таке управління називається оптимальним управлінням).

Для цього потрібно вирішити задачу оптимізації – здійснити вибір оптимального управління (оптимальних впливів, що управляють). Її можна подати у вигляді поетапної моделі.

*Перший етап* – побудова моделі – полягає в описі моделюється система у формальних термінах. Для цього можна, наприклад використовувати теорію графів. Моделі графів широко використовуються для візуального та математичного уявлення структурних властивостей об'єктів в самих різних сферах галузей. Моделі, що відображають мережеву природу досліджуваних об'єктів, часто виявляються конструктивними і поряд з вирішенням завдань аналізу можуть безпосередньо використовуватися в задачах синтезу [24].

Побудова моделі графа передбачає розбиття об'єкта на компоненти (вершини) і встановлення відносин між ними (ребер):

$$G = (V, R), \quad (1)$$

де  $V$  – вершини,  $R$  – зв'язки.

Вершини та ребра можуть описувати різні атрибути, які відображають конкретні властивості відповідних компонентів і зв'язків між ними. Використання таких атрибутів при побудові графових моделей дозволяє врахувати специфіку об'єктів [25].

*Другий етап* – аналіз моделі (дослідження поведінки керованої системи за різних керуючих впливах). З точки зору розташування вершин графу (тобто топології) виділяються три різних форми: зірка, дерево і тор (рис 2). На поданому рисунку кожен набір уздовж горизонталі, що складається з чотирьох вершин, представляє учасників квазіінтеграційних структур взаємодіючих підприємств, а вершини та краї відображають зв'язки між учасниками.

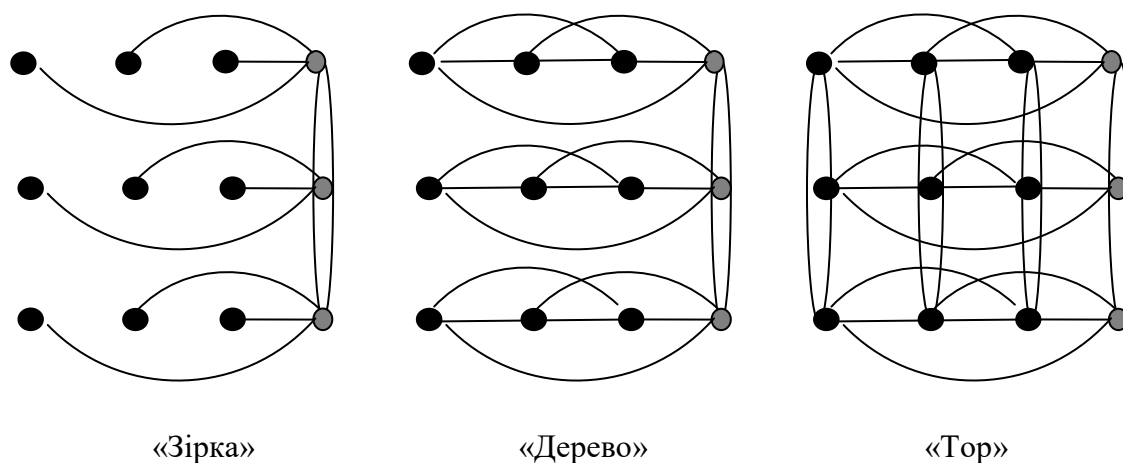


Рисунок 2 – Топології співпраці елементів економічної системи

Джерело: [26, с. 6]

Розв'язавши завдання аналізу, можна переходити до *третього етапу* – вирішення, по-перше, прямої задачі управління, тобто завдання синтезу оптимальних керуючих впливів, що полягає у пошуку допустимих управлінь, що мають максимальну ефективність, і, по-друге, зворотного завдання управління – пошуку множини допустимих керуючих впливів, що переводять керовану систему у заданий стан. Слід зазначити, що, як правило, саме цей етап вирішення завдання управління викликає найбільші теоретичні труднощі та найбільш трудомісткий з погляду дослідника. Маючи набір рішень завдання управління, необхідно перейти до *четвертого етапу*, тобто досліджувати їхню стійкість. Дослідження стійкості

має на увазі рішення, як мінімум, двох завдань. Перше завдання полягає у вивченні залежності оптимальних рішень від параметрів моделі, тобто завдання аналізу стійкості рішень. Друге завдання специфічне для математичного моделювання. Вона полягає в теоретичному дослідженні адекватності моделі реальної системи, яке, зокрема, передбачає вивчення ефективності рішень, оптимальних у моделі, які при їх використанні в реальних системах можуть через помилки моделювання відрізнитися від моделі [1].

Численні види невизначеностей у моделях організаційних систем і, як наслідок, неможливість отримання єдиного розв'язання задач управління привели до появи моделей прийняття рішень. Важливим у яких суб'єктивний зрештою вибір управління. Вибір є дією, що надає діяльності цілеспрямованість [1].

Отже, перераховані чотири етапи полягають у теоретичному вивченні моделі. Для того щоб використовувати результати теоретичного дослідження при управлінні реальною системою, необхідно зробити налаштування моделі, тобто ідентифікувати модельовану систему та провести серію імітаційних експериментів – відповідно *п'ятий та шостий етапи*. Етап імітаційного моделювання у багатьох випадках необхідний із кількох причин. По-перше, далеко не завжди вдається отримати аналітичне рішення задачі синтезу оптимального управління та досліджувати його залежність від параметрів моделі. При цьому імітаційне моделювання може бути інструментом отримання та оцінки рішень. По-друге, імітаційне моделювання дозволяє перевірити справедливність гіпотез, прийнятих при побудові та аналізі моделі, тобто дає додаткову інформацію про адекватність моделі без проведення натурного експерименту. І, нарешті, по-третє, використання ділових ігор та імітаційних моделей у навчальних цілях дозволяє учасникам системи освоїти та апробувати запропоновані механізми управління [1].

Завершальним є *сьомий етап* – етап застосування, у якому виробляється навчання, використання результатів у реальної системі з наступною оцінкою ефективності їх практичного використання, корекцією моделі тощо [1].

#### ***Тема 4. Базова модель раціональної поведінки***

У цій темі розглядаються два «варіанти» моделі раціональної поведінки суб'єкта, що здійснює вибір. У першій моделі переваги моделюються функцією корисності, і раціональність поведінки полягає у прагненні вибору альтернатив, що максимізують корисність. У другій моделі переваги моделюються бінарним ставленням переваги, і раціональність поведінки полягає у прагненні вибору альтернатив, що не домінуються з точки зору цього відношення переваги [1].

Незважаючи на численні випадки прояву нераціональності реальної поведінки людей, раціональна поведінка стала базовою причиною основних економічних моделей. Це сталося тому, що цінність економічних моделей полягає насамперед у їхній здатності зробити нетривіальні висновки щодо людської поведінки, а не в їхньому повному дублюванні реальної поведінки людини. Передумова раціональному поведінці фірм дозволяє отримати безліч нетривіальних економічних моделей, і відрізнити поведінці абсолютно конкурентної фірми від поведінки монопольної фірми.

Поведінка людини, з погляду економічної науки, завжди є раціональною. При цьому під раціональністю економісти розуміють рішення або дії людини, що відповідають її перевагам. Ключовим формальним критерієм такої поведінки є максимізація функції корисності – математичної функції, що відображає переваги людини щодо тих чи інших благ і приймає більші значення тих благ, які краще з точки зору індивіда. Економічний зміст поняття раціональності, у своїй, зумовлено тим, наскільки суворо функція корисності характеризує залежність корисності від переваг чи, інакше кажучи, слідування людини своїм перевагам [29].

Базова передумова моделі раціональності полягає в тому, що індивід приймає раціональне рішення, максимізуючи свою дисконтовану корисність при досконалій інформації, тобто індивід має повну інформацію про це благо: він може передбачати звикання, він точно знає, як споживання блага вплине на нього, його майбутнє, його переваги та ін. Відповідно до теорії раціонального споживання індивід розглядає товари, яких відбувається звикання (addictive goods), у довгостроковому періоді. При цьому під довгостроковим періодом або мається на увазі кінцева кількість років

життя споживача, достатня для прояву негативного ефекту від звички або весь життєвий горизонт індивіда [30].

Раціональність може бути визначена відповідним чином: суб'єкт (1) ніколи не вибере альтернативу X, якщо в той же час (2) доступна йому альтернатива Y, яка, з точки зору його точки зору (3), краще X. [31].

Найбільш зручним інструментом економічного аналізу поведінки людини прийнято вважати узагальнену функцію корисності або так звану модель повної раціональності, яка відображає пряму залежність корисності переваг. Індивідуальні переваги людей моделі повної раціональності задані і відбивають упорядковану оцінку благ кожним їх. Як наслідок, кожна людина має власну певну функцію корисності, яке поведінка є передбачуваним, оскільки безпосередньо залежить від його переваг. При такому підході людина не здатна робити помилки. Маючи повну інформацію про наявні альтернативи, абсолютну пам'ять і обчислювальними здібностями, він точно враховує свої переваги в діях.

Відомими «аномаліями» моделі повної раціональності є і відхилення міжчасового вибору. Зокрема, люди здебільшого демонструють спадну норму тимчасових переваг, тобто. воліють відносно меншу вигоду зараз у порівнянні з більшою в майбутньому. При цьому ставка дисконтування тим вища, ніж коротший період міжчасового вибору. Крім того, доходи дисконтуються індивідами за вищою ставкою, ніж втрати, а менш кращі результати дисконтуються ними більшою мірою, що більш сприятливі. Міжчасові диспропорції у перевагах спостерігаються при негайному та відкладеному споживанні, при володінні цінними паперами та цілій низці інших ситуацій, коли рішення, прийняті людиною, мають на увазі порівняння витрат і вигод, рознесених у часі [29].

Альтернативою опису переваг агента в термінах функції корисності є їх опис у термінах відносин переваги.

Як зазначалося вище, в основі теорії прийняття рішень лежить припущення, що людина, поставлена перед проблемою вибору, у процесі вироблення рішення (вибору альтернативи) керується своїми уподобаннями, тобто вибирає дію, яка, на його думку, призведе до найбільш кращого для нього результату діяльності

(виходу). Формальний опис процесу порівняння альтернатив може бути дано через відносини переваги та нерозрізненості.

### ***Тема 5. Прийняття рішень в умовах природної та ігрової невизначеності***

Рішення приймається за умов невизначеності, коли неможливо оцінити ймовірність потенційних результатів. Невизначеність характерна для деяких рішень, які доводиться приймати в умовах, що швидко змінюються [32].

Зовнішнє середовище – головне джерело невизначеності функціонування підприємства в умовах ринку. Невизначеність є характеристикою організаційної поведінки, з якою організації мають жити.

Приймаючи рішення в умовах невизначеності, слід керуватися правилом, яке свідчить, що будь-яке рішення, що розробляється на основі навіть поверхового аналізу або прогнозу, краще рішення, що приймається спонтанно, наважання. З метою реалізації цього правила, менеджери дуже часто вдаються за допомогою різних варіантів методу експертного аналізу та прогнозування.

Рішення є станом невизначеності, викликаним необхідністю вибору дій, які дозволять досягти певного, заздалегідь заданого результату.

Описані вище у цьому розділі моделі прийняття рішень є основою побудови моделей функціонування організаційних систем.

У наукових джерелах із теорії систем і кібернетики відзначається, що поняття «елемент» та «система» взаємно перетворювані: Система може розглядатися як елемент системи вищого порядку. А елемент – як система (за поглибленим аналізом). Спираючись на принципи єдності агрегованого та дезагрегованого розгляду економічних систем і використовуючи різні варіанти сукупностей елементів, вбачається за доцільне проводити дослідження на декількох ієрархічних рівнях. Ієрархічний рівень, на якому розглядаються елементи та компоненти, виступає як вихідний і змістовно деталізований. На всіх вищих рівнях відбувається в тому або іншому ступені стиснення інформації. Надалі запропоновано розрізняти рівні компонентної визначеності та полікомпонентних елементів [24].

Елементи економічних систем перебувають між собою в різних компонентних (для відповідного ієрархічного рівня) та організаційних відносинах, а також функціональних зв'язках [24].

Однак центр уваги менеджменту повинен орієнтуватися не на просту співпрацю учасників системи, а на спільне створення цінності на основі досвіду взаємодії [33]. Тим самим утворюватимуться організаційні рутини й процеси (які також можна розглядати як компетенції), що спроможні поширюватися за межі окремого учасника екосистеми [34].

Окремі елементи об'єднуються в систему на основі існування й встановлення зв'язків між ними. По суті, економічна система – це оптимальний набір зв'язків та управління ними.

Недовивченість зв'язків призводить до виникнення таких проблем, як:

- втрата управління через зростання масштабу;
- різномірність більшості частин;
- наявність певної непов'язаності між собою окремих частин;
- складність створення єдиних стандартів управління [35].

Перед тим як розглядати ті чи інші конкретні класи таких моделей, наведемо систему класифікацій завдань управління організаційними системами [7].

З погляду системного аналізу будь-яка система задається перерахуванням її складу, структури та функцій. З урахуванням цілеспрямованості поведінки учасників організаційних систем (ОС), їх функції описуються у межах моделей прийняття рішень. Тому модель організаційної системи визначається завданням [7]:

- склад ОС (учасників, що входять до ОС, тобто її елементів);
- структура ОС (сукупності інформаційних, керуючих, технологічних та інших зв'язків між учасниками ОС);
- множини допустимих дій (обмежень та норм діяльності) учасників ОС, що відображають, у тому числі, інституційні, технологічні та інші обмеження та норми їхньої спільної діяльності;
- переваги учасників ОС;

- інформованість – тієї інформації про суттєві параметрах, якою володіють учасники ОС на момент прийняття рішень про стратегії;
- порядок функціонування: послідовність отримання інформації та вибору стратегій учасниками ОС.

Склад визначає «хто» входить до системи, структура – «хто з ким взаємодіє» (з цього погляду порядок функціонування тісно пов'язаний зі структурою системи, оскільки перший визначає причинно-наслідкові зв'язки та порядок взаємодії), допустимі множини – «хто що може», цільові функції – «хто що хоче», поінформованість – «хто що знає».

Управління ОС, що розуміється як вплив на керовану систему з метою забезпечення необхідної її поведінки, може торкатися кожного з перерахованих шести параметрів її моделі.

1. Отже, першою основою системи класифікацій задач і механізмів управління ОС (процедур прийняття управлінських рішень) є предмет управління - змінюється у процесі та в результаті управління компонента ОС.

З цієї основи можна виділити:

- склад;
- управління структурою;
- інституційне управління (управління обмеженнями та нормами управління діяльності);
- мотиваційне управління (управління уподобаннями та інтересами);
- інформаційне управління (управління інформацією, яку мають учасники ОС на момент прийняття рішень);
- управління порядком функціонування (управління послідовністю отримання інформації та вибору стратегій учасниками ОС).

З погляду ієрархічних ігор [36] порядок функціонування тісно пов'язаний з організаційною структурою (учасники ОС, що знаходяться на більш високих рівнях ієрархії, приймають рішення раніше), тому зазвичай поєднують завдання управління структурою та завдання управління порядком функціонування. Тобто отримуємо п'ять класів завдань керування ОС.

Управління складом стосується того, хто увійде до організації, кого слід звільнити, кого найняти. Зазвичай до управління складом відносять завдання навчання та розвитку персоналу. Завдання управління структурою зазвичай вирішується паралельно із завданням управління складом і дозволяє дати відповідь на питання – хто які функції повинен виконувати, хто кому повинен підпорядковуватися, хто контролювати тощо.

Інституційне управління є найбільш жорстким та полягає в тому, що центр цілеспрямовано обмежує безлічі можливих дій та результатів діяльності агентів. Таке обмеження може здійснюватись явними чи неявними впливами – правовими актами, розпорядженнями, наказами тощо. чи морально-етичними нормами, корпоративною культурою тощо.

Мотиваційне управління є більш «м'яким», ніж інституційне, і полягає у цілеспрямованій зміні переваг (функції корисності) агентів. Така зміна може здійснюватись запровадженням системи штрафів та/або заохочень за вибір тих чи інших дій та/або досягнення певних результатів діяльності.

Найбільш «м'яким» (непрямим), порівняно з інституційним та мотиваційним, є інформаційне управління.

Найпростіша (базова) модель ОС включає одного керованого суб'єкта – агента – та одного керуючого органу – центру, які приймають рішення одноразово та в умовах повної поінформованості.

Розширення базової моделі є:

- динамічні ОС (у яких учасники приймають рішення багаторазово – розширення на предмет управління «порядок функціонування»);
- багатоеlementні ОС (у яких є кілька агентів, тих, хто приймає рішення одночасно і незалежно – розширення на предмет управління «склад»);
- багаторівневі ОС (що мають три- і більш рівневу ієрархічну структуру – розширення на предмет управління «структура»);
- ОС з розподіленим контролем (у яких є кілька центрів, які здійснюють управління одними й тими самими агентами – розширення на предмет управління «структура»);

- ОС з невизначеністю (у яких учасники не повністю поінформовані про суттєві параметри – розширення на предмет управління «інформованість»);
- ОС з обмеженнями спільної діяльності (у яких існують глобальні обмеження на спільний вибір агентами своїх дій – розширення на предмет управління «безліч допустимих дій»);
- ОС із повідомленням інформації (у яких однією з дій агентів є повідомлення інформації один одному та/або центру – розширення на предмет управління «множини допустимих дій»).

Таким чином, другою основою системи класифікацій може також служити основа розширення базової моделі – наявність чи відсутність: динаміки; множини взаємопов'язаних агентів; багаторівневості; розподіленого контролю; невизначеності; обмеження спільної діяльності; інформації.

### ***Розділ 3. Моделі стимулювання в управлінні економічними системами і процесами***

У розділі 3 розглядаються основні підходи та результати дослідження теоретико-ігрових завдань стимулювання.

Стимулюванням називається спонукання (здійснюване у вигляді впливу управляючого органу – центру – на переваги керованого суб'єкта – агента) до здійснення певних дій.

Дослідження формальних моделей стимулювання у межах теорії управління організаційними системами [7] почалося практично наприкінці 60-х років минулого століття. Основними науковими школами цього напрямку досліджень є теорія активних систем, теорія ієрархічних ігор та теорія контрактів, що розвивається в основному закордонними вченими. Крім того, проблеми стимулювання (попиту на працю, пропозиції праці тощо) традиційно перебували у центрі уваги економіки праці. Прикладні завдання стимулювання розглядаються та використовуються, у тому числі, в управлінні персоналом.

Цей розділ присвячений опису основних підходів і результатів теоретичного дослідження задач стимулювання. Послідовність викладу наступна: спочатку розглядається завдання стимулювання центром одного агента, потім описуються базові механізми стимулювання, що враховують різні обмеження на системи стимулювання та відображають найбільш поширені на практиці форми та системи оплати праці. Далі базова модель узагальнюється на випадок одного центру, керуючого колективом взаємопов'язаних агентів, після чого цей клас моделей у свою чергу узагальнюється для ситуації наявності обмежень на системи стимулювання [1]. Далі узагальнюються базової моделі, відповідно, на організаційні системи з розподіленим контролем (у яких один агент підпорядкований одночасно декільком центрам) та на системи, що функціонують в умовах невизначеності.

### ***Тема 6. Моделі ієрархії управління економічними системами і процесами.***

Існують різні підходи до формування та класифікації організаційних ієрархій. Деякі класифікації організаційних ієрархій засновані на формальних характеристиках моделей.

Підхід заснований на побудові графа декомпозиції цілей та завдань організації (побудову графа розглянуто в Темі 3) [44].

Інший підхід заснований на припущенні, що завдання організації полягає у максимізації деякого критерію ефективності – її «цільової функції». Через складність цієї функції, завдання максимізації доводиться декомпонувати і доручати вирішення окремих завдань окремим підрозділам організації. Формування організаційної структури зводиться до пошуку допустимої декомпозиції, яка мінімізує втрати ефективності [44].

У третьому підході будується функція, що безпосередньо визначає залежність ефективності функціонування організації від структурних характеристик організаційної ієрархії та шукається ієрархія, що максимізує/мінімізує цю функцію.

Четвертий підхід пов'язаний з кількісною оцінкою взаємозв'язків між елементами системи та ієрархічним угрупованням найбільш сильно пов'язаних елементів у підрозділи [44].

Інша система класифікації, заснована на таких формальних характеристиках моделей, як мета дослідження, цілеспрямованість системи та окремих її елементів, однорідність елементів, кількість рівнів організаційної структури тощо, розглянута в [45]. Ця досить докладна система класифікацій дозволяє розбити безліч моделей на велику кількість класів і аналізувати, наприклад, ступінь схожості моделей за різними ознаками класифікації [1].

Також існують системи класифікації, що базуються на змістовних характеристиках моделей. Найбільш типовим ознакою класифікації є завдання, розв'язувані менеджерами – елементами ієрархії управління. Такими завданнями можуть бути [46]:

- спостереження за зовнішнім середовищем та результатами попередніх дій,
- обробка та передача інформації,
- прийняття рішень,
- контроль,
- вирішення кадрових питань,
- навчання та роз'яснення,
- планування,
- вирішення проблем,
- переконання, примус та цілепокладання.

Схожа класифікація пропонується у [47]. У цьому огляді підходи розбиваються «лінії досліджень» – групи взаємозалежних публікацій, автори яких або розвивають загальну модель, або, навпаки, дискутують один з одним. Перевага такого розбиття полягає у його більшій історичності – воно дозволяє простежити розвиток у часі підходів до дослідження завдань формування організаційних ієрархій (недоліком є певна еkleктичність) [1].

### ***Тема 7. Теоретико-ймовірнісні моделі. Концепція моделі «чорно ящику»***

Кількісний аналіз даних ґрунтується на таких дисциплінах: теорія ймовірностей, математична статистика, прикладна статистика, економетрика. Визначимо чим займаються ці напрями інтелектуальної діяльності людини.

*Теорія ймовірностей* – математична наука, призначена для розробки (і дослідження властивостей) математичних моделей, що імітують механізми функціонування реальних явищ або систем, умови «життя» яких включають неминучість «заважаючого» впливу великої кількості випадкових (тобто не піддаються строгому обліку та контролю) факторів.

*Математична статистика* – система заснованих на теоретико-імовірнісних моделях понять, прийомів та математичних методів, призначених для збирання, систематизації, інтерпретації та обробки статистичних даних з метою отримання наукових та практичних висновків. Одне з головних призначень методів математичної статистики – обґрунтований вибір серед безлічі можливих теоретико-імовірнісних моделей тієї моделі, яка найкраще відповідає наявним у розпорядженні дослідника статистичним даним, що характеризує реальну поведінку конкретної досліджуваної системи.

*Прикладна статистика* – наукова дисципліна, що розробляє та систематизує поняття, прийоми, математичні методи та моделі, призначені для організації збору, стандартного запису, систематизації та обробки статистичних даних з метою їх зручного представлення, інтерпретації та отримання наукових та практичних висновків.

*Економетрика* – економіко-математична наукова дисципліна, що розробляє та використовує методи, моделі, прийоми, що дозволяють надавати конкретний кількісний вираз загальним (якісним) закономірностям економічної теорії на базі економічної статистики та з використанням математико-статистичного інструментарію.

Інструментом вивчення кількісних характеристик економічних явищ та економічних систем є математична модель. Будь-яка математична модель є спрощеним уявленням дійсності, і мистецтво її побудови полягає в тому, щоб поєднати якомога більшу лаконічність параметризації моделі з достатньою адекватністю опису досліджуваної дійсності або, іншими словами, щоб досягти максимальної концентрації реальності у простій математичній формі.

*Математична модель* – це абстракція реального світу, в якій відносини між реальними елементами, що цікавлять дослідника, замінені відповідними відносинами між математичними категоріями. Ці відносини, як правило, представлені у формі рівнянь та (або) нерівностей між показниками (змінними), що характеризують функціонування модельованої реальної системи. Мистецтво будівництва математичної моделі полягає в тому, щоб поєднати якомога більшу лаконічність у її математичному описі з достатньою точністю модельного відтворення саме тих сторін аналізованої реальності, які цікавлять дослідника.

Серед математичних моделей особливе місце займають моделі, в яких змінні мають випадкову природу. Це теоретико-ймовірнісні та ймовірнісно-статистичні моделі.

*Теоретико-ймовірнісна модель* – це математична модель, що імітує механізм функціонування *гіпотетичного* (не конкретного) реального явища (або системи) стохастичної природи.

*Ймовірнісно-статистична модель* – це ймовірнісна модель, значення окремих характеристик (параметрів) якої оцінюються за результатами спостережень (вихідними статистичними даними), що характеризують функціонування модельованого конкретного (а не гіпотетичного) явища (або системи).

*Два підходи до інтерпретації та аналізу початкових статистичних даних*

Перший, *ймовірнісно-статистичний підхід*, що розвивається в рамках класичної математичної статистики (тобто в умовах хоча б приблизного виконання вимог статистичної стійкості), передбачає можливість ймовірнісної інтерпретації аналізованих даних і одержуваних в результаті цього аналізу статистичних висновків. При подібній (ймовірнісній) інтерпретації початкових статистичних даних в поле зору дослідника одночасно потрапляють дві сукупності об'єктів: сукупність, що реально спостерігається, статистично представлена рядом спостережень (тобто вибірка), і сукупність, що теоретично домислюється (так звана генеральна сукупність). Основні властивості та характеристики вибірки (так звані емпіричними характеристики), можуть бути проаналізовані та обчислені за наявними статистичними даними. Основні властивості і характеристики генеральної

сукупності, (так звані теоретичні характеристики), не відомі досліднику, але призначення математико-статистичних методів якраз у тому і полягає, щоб з їх допомогою отримати якомога точніше уявлення про ці теоретичні властивості і характеристики за відповідним властивостям і характеристикам вибірок.

Найважливішим моментом успіху статистичного аналізу та моделювання таких даних є вдале вирішення проблеми їх генезису, тобто правильний вибір ймовірнісної моделі механізму генерації цих даних. Саме вирушаючи від вирішення проблеми генези аналізованих статистичних даних, ми можемо обґрунтовано відповісти на запитання:

- як найкраще вибрати метод статистичної обробки цих даних, наприклад, побудувати найточнішу оцінку невідомого середнього значення аналізованої генеральної сукупності?

- яким має бути загальний вигляд моделі, який описує ту чи іншу залежність між аналізованими ознаками?

У іншій ситуації виявляється дослідник, якщо він володіє ніякими апріорними відомостями про імовірнісну природу аналізованих даних, або якщо ці дані взагалі не можуть бути інтерпретовані як вибірка з генеральної сукупності. Тоді при виборі критерію якості (методу оцінювання або ступеня адекватності конструйованої моделі) дослідник змушений спиратися на міркування конкретно-змістовного плану: як саме отримані аналізовані дані і яка кінцева прикладна мета їх аналізу. Оскільки ці міркування засновані на звичайній логіці і реалізуються, як правило, у вигляді деякого критерію алгебраїчного виду, то і відповідний, други, підхід прийнято називати *логіко-алгебраїчним*. Очевидно, в рамках логіко-алгебраїчного підходу (на відміну від ймовірно статистичного) дослідник не може претендувати на:

- інтерпретацію вихідних статистичних даних як вибірки з деякої (теоретично домислюваної) генеральної сукупності;

- використання імовірнісних моделей для побудови та вибору найкращих методів статистичної обробки або найкращого виду конструйованої моделі;

- ймовірнісну інтерпретацію висновків, засновану на статистичному аналізі початкових даних.

У цьому полягає основна відмінність двох можливих підходів до статистичного аналізу первинних даних. Однак і в тому і в іншому підході вибір найкращого з усіх можливих методів аналізу та моделювання даних проводиться у відповідності з деяким *критерієм якості* методу або ступеня адекватності моделі. Відмінність опису підходів проявляється тут у *способі обґрунтування* вибору цього критерію якості, а також в інтерпретації самого критерію і одержуваних статистичних висновків. Але після того, як вибір конкретного виду оптимізованого критерію якості здійснено, математичні засоби вирішення задачі статистичного аналізу та моделювання даних виявляються загальними для обох підходів: і в тому і в іншому випадку з метою оптимізації обраного критерію якості дослідник використовує методи вирішення екстремальних завдань. Щоправда, на заключному етапі – на етапі осмислення та інтерпретації отриманих статистичних висновків – кожен із підходів знову має свою специфіку.

Таким чином, загальним для обох описуваних підходів є наявність початкової статистичної інформації на «вході» задачі та необхідність найкращого (в сенсі оптимізації деякого критерію якості) способу статистичного аналізу або моделювання цієї інформації з метою отримання наукових або практичних висновків «на виході».

Саме ця загальна логічна схема і покладена в основу методологічного принципу розробки інструментарію прикладної статистики. Це дозволило синтезувати два описані вище підходи до статистичного аналізу та моделювання. В результаті, прикладна статистика об'єднала в собі як прикладні імовірнісно-статистичні методи багатовимірного статистичного аналізу, включаючи моделі регресії (істотно спираючись при цьому на результати математичної статистики, що стосуються методів статистичного оцінювання та статистичної перевірки гіпотез), так і логіко-алгебраїчні методи аналізу даних, що розуміється у вузькому сенсі, тобто виключає використання у своїх побудовах імовірнісних міркувань і моделей.

#### *Концепція «чорного ящика»*

Концепція «чорного ящика» (англ. black box) застосовується у різних галузях знань, включаючи інженерію, техніку, психологію та інші науки. У загальному

розумінні «чорний ящик» – це система, яка приймає вхідні дані і видає вихідні дані, при цьому механізм внутрішньої трансформації системи залишається невидимим для зовнішнього спостерігача.

В інших галузях знання, таких як психологія та соціологія, концепція «чорного ящику» може використовуватися для опису людської поведінки, у яких відбуваються складні процеси, невидимі для спостерігача, зокрема, в процесах прийняття рішень.

Для операціоналізації функціонування «чорного ящику» застосовують наступну схему (рис. 3).

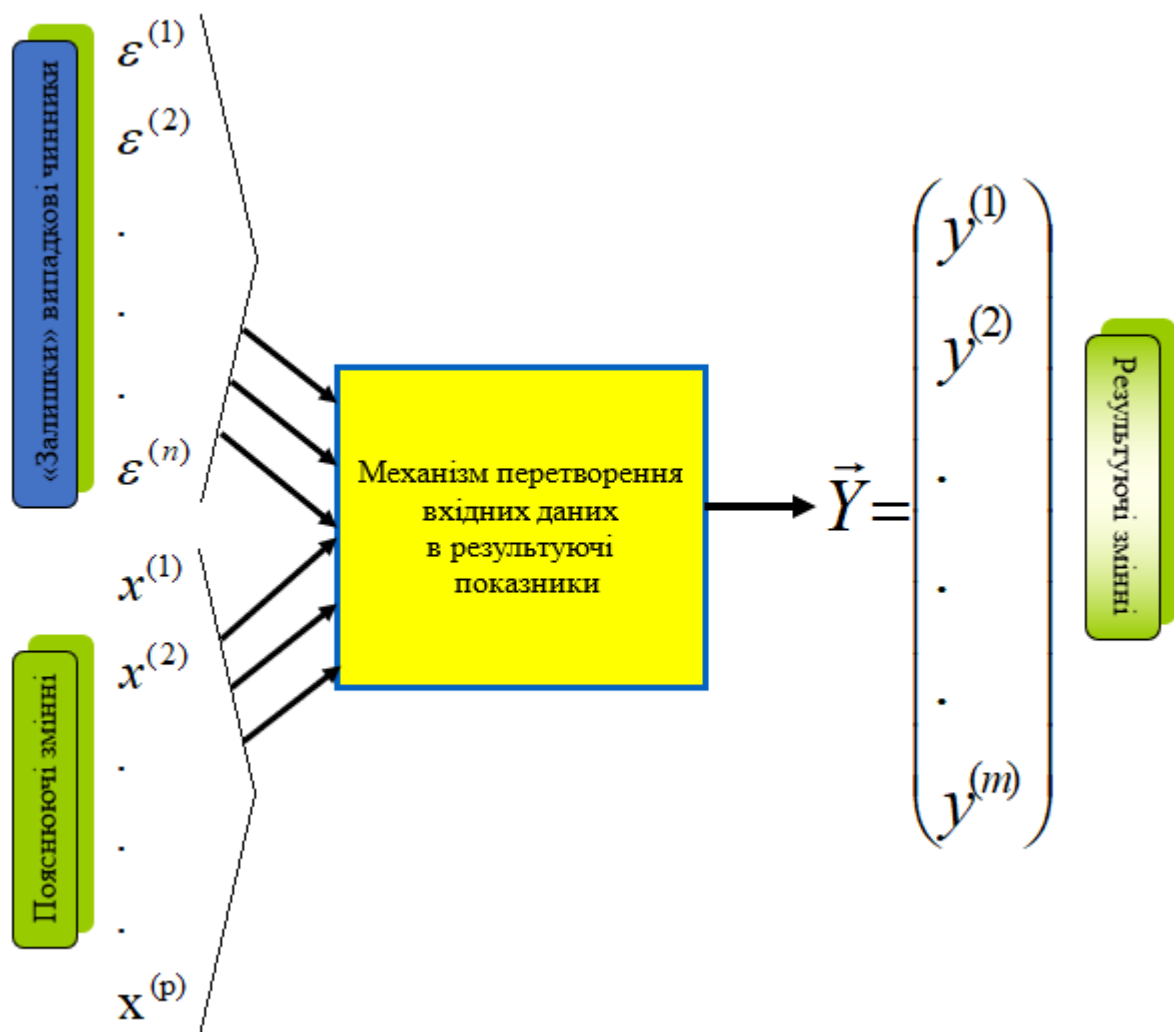


Рисунок 3 – Концептуальна модель «чорної скриньки» з представленням змінних «вхід»–«вихід»

На поданому рисунку

$$Y = f(x_1, x_2, \dots, x_n) + \varepsilon \quad (2)$$

де,  $Y$  – вихідна (-ні), залежна, відгук, ендогенна змінна, результуюча, що пояснюється;

$x_1, x_2, \dots, x_n$  – «вхідні» змінні, незалежні змінні, фактори-аргументи, предиктори, екзогенні, що пояснюють;

$\varepsilon$  – латентна (тобто прихована, що не піддається безпосередньому виміру; що виникає за рахунок неврахованих на «вході» факторів або помилок вимірювань), залишок.

### Статистичний інструментарій пояснення роботи «чорної скриньки»

Статистичний інструментарій опису функціонування «чорної скриньки» наведено у табл. 1 відповідно до шкал (вимірювання) змінних на «вході» та «виході».

Таблиця 1 – Застосування методів прикладного статистичного аналізу відповідно до шкал вимірювання змінних «входу» та «виходу».

Шкали результуючих змінних	Шкали незалежних змінних	Обслуговуючі підрозділи прикладного статистичного аналізу
Метричні	Метричні	1. Регресійний аналіз 2. Кореляційний аналіз
Метричні	Єдина метрична, що інтерпретується як «час»	Аналіз часових рядів
Метричні	Неметричні	Дисперсійний аналіз
Метричні	Змішані метричні та неметричні	1. Коваріаційний аналіз 2. Моделі типологічної регресії
Неметричні	Неметричні	1. Аналіз рангових кореляцій 2. Аналіз таблиць сполучень ознак
Номінальні	Метричні	1. Дискримінантний аналіз 2. Кластерний аналіз 3. Розщеплення сумішів
Змішані метричні та неметричні	Змішані метричні та неметричні	Апарат логічний вирішальних функцій

## ***Тема 8. Задачі виявлення зв'язків, класифікації, зниження розмірності простору ознак***

Сформулюємо *три центральні проблеми* прикладної статистики. Не слід думати, що ці проблеми вичерпують весь зміст прикладної статистики. Те, що саме ці проблеми виділені як центральні, має умовний сенс і пояснюється насамперед «економетричними інтересами».

**Проблема I.** *Статистичне дослідження структури та характеру взаємозв'язків, що існують між аналізованими кількісними змінними.* При цьому під «змінними» розуміються як ознаки, що реєструються на об'єктах, так і час.

**Проблема II.** *Розробка статистичних методів класифікації об'єктів та ознака.* У загальній постановці проблема класифікації об'єктів полягає в тому, щоб всю аналізовану сукупність об'єктів розбити на порівняно невелике число (заздалегідь відоме чи ні) однорідних, у певному сенсі, груп чи класів.

**Проблема III.** *Зниження розмірності досліджуваного ознакового простору з метою лаконічного пояснення природи аналізованих багатовимірних даних.* Необхідність зниження розмірності досліджуваного ознакового простору з метою лаконічного пояснення природи аналізованих багатовимірних даних може бути продиктована різними прикладними завданнями статистичного аналізу та моделювання. Наведемо декілька типових завдань такого роду:

- відбір найбільш інформативних показників (включаючи виявлення латентних факторів).
- стиснення масивів оброблюваної та збереженої інформації.
- візуалізація (наочне уявлення) даних.

### *Основні етапи прикладного статистичного аналізу*

Для пояснення ролі та місця основних прийомів статистичного моделювання та методів первинної статистичної обробки вихідних даних зручно розкласти загальну логічну схему статистичного аналізу на основні етапи дослідження.

**1-й етап:** *початковий (попередній) аналіз досліджуваної реальної системи.* В результаті цього аналізу визначаються:

- основні цілі дослідження на неформалізованому, змістовному рівні;

- сукупність одиниць, що становить предмет статистичного дослідження;
- перелік відібраних з представленого спеціалістами апріорного набору показників, що характеризують стан (поведінку) кожного з обстежуваних об'єктів, який передбачається використовувати в даному дослідженні;
- ступінь формалізації відповідних записів при зборі даних;
- загальний час та трудовитрати, відведені на плановані роботи, та пов'язаний з ними обсяг необхідного статистичного обстеження;
- моменти, що вимагають попередньої перевірки перед складанням детального плану дослідження (наприклад, не завжди апріорі ясна можливість ідентифікації одиниць спостереження);
- формалізована постановка задачі, що по можливості включає ймовірнісну модель вивченого явища і природу статистичних висновків, до яких повинен (або може) прийти дослідник в результаті переробки масиву вихідних даних;
- форми, що використовуються для збору первинної інформації та для введення її в обчислювальний пристрій.

*2-й етап:* складання детального плану збору вихідної статистичної інформації. При складанні цього плану необхідно враховувати повну схему подальшого статистичного аналізу, про що часто забувають. Апріорне уявлення про те, як і для чого дані будуть аналізуватися, може істотно вплинути на їх збір. При плануванні особливої уваги заслуговують випадки, коли:

- використовується апарат теорії вибірових обстежень, тобто визначається, якою має бути вибірка – випадкової, пропорційної, розшарованої тощо;
- хоча б для частини вхідних змінних експеримент носить активний характер, тобто змінні допускають фіксацію в кожному конкретному спостереженні на певному рівні, і вибір плану обстеження здійснюється із залученням методів планування експериментів. У деяких посібниках зі статистики цей етап називають етапом «організаційно-методичної підготовки».

*3-й етап:* збір вихідних статистичних даних та їх введення у обчислювальний пристрій. Одночасно в обчислювальний пристрій вносяться повні та короткі (для автоматизованого відтворення в таблицях) визначення термінів, що

використовуються. У програмному забезпеченні повинні бути передбачені спеціальні заходи, що виключають або різко зменшують можливість появи розрахунків не з тим підмножиною даних або не для тієї підгрупи об'єктів.

*4-й етап: первинна статистична обробка даних.* У ході первинної статистичної обробки даних зазвичай розв'язуються такі завдання:

- відображення змінних, описаних текстом, в номінальну (з приписаним числом градацій) або ординальну (порядкову) шкалу;
- статистичний опис вихідних сукупностей з визначенням меж варіювання змінних;
- аналіз спостережень, які різко виділяються;
- відновлення пропущених спостережень;
- перевірка статистичної незалежності послідовності спостережень, що становлять масив вхідних даних;
- уніфікація типів змінних, коли з допомогою різних прийомів домагаються уніфікованого запису всіх змінних;
- експериментальний аналіз закону розподілу досліджуваної генеральної сукупності та параметризація відомостей про природу досліджуваних розподілів (іноді цей етап називають процесом складання зведення та угруповання). Крім того, етап 4 включає в себе обчислювальну реалізацію вирішення наступних питань: облік розмірності та алгоритмічної складності завдання і одночасно можливостей використовуваного обчислювального засобу; формулювання завдання вхідною мовою використовуваного програмного забезпечення тощо.

*5-й етап: складання детального плану обчислювального аналізу матеріалу.* Етап починається зі складання довідки за зібраним матеріалом та результатами попереднього аналізу. Визначаються основні групи, з котрими буде проводитися подальший аналіз. Поповнюється і уточнюється тезаурус змістовних понять. Чітко описується блок-схема аналізу із зазначенням методів, що залучаються. Формулюється оптимізаційний критерій, на підставі якого вибирається один із альтернативних методів (або одне з альтернативних сімейств методів) основної статистичної обробки вихідних даних.

6-й етап: обчислювальна реалізація основної частини статистичної обробки даних. Основна турбота дослідника на цьому етапі – ефективне управління обчислювальним процесом шляхом формулювання задачі обробки та опису даних на вхідній мові використовуваного програмного забезпечення. Враховуються розмірність задачі, алгоритмічна складність обчислювального процесу, можливості використовуваного обчислювального засобу (довжина слова, швидкодія, обсяг оперативної пам'яті, організація бази даних тощо) і, нарешті, особливості даних (ступінь обумовленості використовуваних при реалізації лінійних процедур матриць, надійність апріорних оцінок параметрів тощо).

7-й етап: підбиття підсумків дослідження. Етап починається з побудови формального статистичного звіту про проведене дослідження. При інтерпретації результатів застосування статистичних процедур (оцінка параметрів, перевірка гіпотез, відображення в простір меншої розмірності, класифікація тощо) враховується як місце цих процедур у блок-схемі аналізу, так і співвідношення обсягів використовуваних вибірок, розмірності простору спостережень, числа та значень параметрів. Теоретично ці питання, незважаючи на їхню крайню актуальність, розроблені досить мало.

Потім результати дослідження, його основні висновки формулюються у змістовних термінах. Якщо дослідження проводилося в рамках математико-статистичних методів і моделей, то його висновки формулюються в термінах оцінок невідомих параметрів аналізованої системи або у вигляді відповіді на питання про справедливість гіпотези, що перевіряється, і супроводжуються гарантованими кількісними оцінками ступеня їх достовірності. Якщо ж дослідження здійснювалося у межах логіко-алгебраїчного підходу, його висновки не претендують на ймовірнісну інтерпретацію.

На закінчення перевіряється, в якій мірі досягнуті намічені на етапі 1 змістовні цілі роботи, і якщо досягнуті не всі з них, то пояснюється, чому. Робота завершується змістовним формулюванням нових завдань, що впливають із проведеного дослідження.

У деяких посібниках статистики етапи 5, 6 і 7 об'єднані в одному етапі, названому «Обробка та аналіз».

Резюмуючи опис загальної логічної схеми статистичного аналізу вихідних даних, відзначимо, що основні прийоми статистичного моделювання та методи первинної статистичної обробки є головними в ході реалізації найважливіших етапів 1, 4 та 7, а також при необхідності можуть залучатися при реалізації етапів 3, 6 та 6.

### *Статистичне дослідження залежностей*

Будь-який закон функціонування соціально-економічних систем може бути виражений в кінцевому рахунку у вигляді опису характеру або структури взаємозв'язків (залежностей), що існують між досліджуваними явищами або показниками. Якщо ці залежності:

– стохастичні за своєю природою, тобто дозволяють встановлювати лише імовірнісні логічні співвідношення між досліджуваними подіями А і В, а саме співвідношення типу «з факту здійснення події А слід, що подія В повинна відбутися, але не обов'язково, а лише з деякою (як правило, близькою до одиниці) ймовірністю

– виявляються на підставі статистичного спостереження за аналізованими подіями або змінними, що здійснюється за вибіркою з цікавої для нас генеральної сукупності, то ми опиняємось у рамках проблеми *статистичного дослідження залежностей*.

Апарат статистичного дослідження залежності – складова частина багатовимірного статистичного аналізу – націлений на вирішення основної проблеми природознавства: як на підставі окремих результатів статистичного спостереження за аналізованими подіями або показниками виявити та описати стохастичні взаємозв'язки, що існують між ними.

Аналізовані змінні величини за своєю роллю в дослідженні поділяються на пояснюючі («вхід»)  $\vec{X}$  та результуючі («вихід»)  $\vec{Y}$ . Серед компонентів векторів  $\vec{X}$  і  $\vec{Y}$  можуть бути і кількісні, і порядкові (ординальні), і класифікаційні (номінальні).

«Вхідні» змінні  $\vec{X} = (x_1, x_2, \dots, x_p)$ , що описують умови функціонування (частина їх, зазвичай, піддається регулюванню чи частковому управлінню); у відповідних математичних моделях їх називають *незалежними, факторами-аргументами, предикторними* (або просто *предикторами*, тобто провісниками), *екзогенними, пояснюючі*.

$\vec{Y} = (y_1, y_2, \dots, y_m)$  – «вихідні» змінні, що характеризують *поведінку* або *результат* (ефективність) *функціонування*; в математичних моделях їх називають *залежними, відгуками, ендогенними, результативними* або *пояснювані*.

«Вхідні» та «вихідні» змінні пов'язані стохастичною «залежністю»

$$\vec{Y} = f(\vec{X}) + \vec{\varepsilon} \quad (3)$$

де  $\vec{\varepsilon} = (\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_m)$  – латентні (тобто приховані, що не піддаються безпосередньому виміру) випадкові «залишкові» компоненти, що відображають вплив (відповідно на) неврахованих «на вході» факторів, а також випадкові помилки у вимірі аналізованих показників (у математичних моделях їх, як правило, називають просто «залишками»).

Центральним математичним об'єктом у процесі статистичного дослідження залежностей є функція  $f(\vec{X})$ , яка називається функцією регресії  $\vec{Y}$  по  $\vec{X}$  і описує зміну умовного середнього значення  $\vec{Y}_{cp}(\vec{X})$  результуючого показника  $\vec{Y}$  (обчисленого при фіксованих на рівні  $\vec{X}$  значеннях пояснюючих змінних) залежно від зміни значень пояснюючих змінних.

Кінцеві прикладні цілі статистичного дослідження залежностей можуть бути в основному трьох типів:

- 1) встановлення самого факту наявності (або відсутності) статистично значущого зв'язку між  $\vec{Y}$  і  $\vec{X}$ , дослідження структури цих зв'язків;
- 2) прогноз (відновлення) невідомих значень індивідуальних чи середніх значень результуючого показника за заданими значеннями відповідних пояснюючих (предикторних) змінних;

3) виявлення причинних зв'язків між пояснювальними змінними  $\vec{X}$  і результуючими показниками  $\vec{Y}$ , часткове управління значеннями  $\vec{Y}$  шляхом регулювання величин пояснюючих змінних  $\vec{X}$ .

Математичний апарат статистичного дослідження залежностей формувалася і розвивався з урахуванням специфіки аналізованих моделей, обумовлений в першу чергу природою досліджуваних змінних. Так, вивчення залежностей між кількісними змінними обслуговується регресійним і кореляційним аналізами та аналізом часових рядів; вивчення залежностей кількісного результуючого показника від кількісних або різнотипних пояснюючих змінних – дисперсійним та коваріаційним аналізами, моделями типологічної регресії; нарешті, для дослідження системи залежностей, в яких одні й ті самі змінні в різних рівняннях цієї системи можуть одночасно виконувати і роль результуючих, і пояснюючих змінних, служить теорія одночасних економетричних рівнянь.

До основних типових завдань практики, у яких використання апарату статистичного дослідження залежностей виявляється найбільш доречним та ефективним, слід віднести завдання:

- нормування;
- прогнозу, планування та діагностики;
- оцінки важкодоступних (для безпосереднього спостереження та вимірювання) характеристик досліджуваної системи;
- оцінки ефективності функціонування (або якості) аналізованої системи;
- регулювання параметрів функціонування аналізованої системи.

Всі ці завдання є основними складовими частинами центральної проблеми кібернетики – управління, зв'язку та розробки інформації.

За своєю природою досліджувані залежності можна розділити на:

- *детерміновані*, коли досліджується функціональна залежність між не випадковими змінними;
- *регресійні*, коли досліджується залежність випадкового результуючого показника від не випадкових пояснюючих змінних – параметрів системи;

– *кореляційні*, коли досліджується залежність між випадковими змінними, причому пояснюючі змінні можуть бути виміряні без спотворень;

– *конфлюентні*, коли досліджується функціональна залежність між випадковими або не випадковими змінними в ситуації, коли ті та інші можуть бути виміряні лише з деякою випадковою помилкою.

Весь процес статистичного дослідження залежностей може бути розбитий на вісім послідовно реалізованих основних етапів:

Етап 1 (постановний). Повинно бути визначено:

– елементарну одиницю статистичного обстеження, або елементарний об'єкт дослідження (це може бути країна, місто, галузь, підприємство, сім'я, індивідуум, технологічний процес, складний технічний виріб тощо);

– набір показників, що реєструються на кожному зі статистично обстежених об'єктів, з розбиттям їх на «вхідні» (пояснювальні) та «вихідні» (результуючі) і, якщо це необхідно, з чітким визначенням способу їх вимірювання;

– кінцеві прикладні цілі дослідження, тип досліджуваних залежностей та бажану форму статистичних висновків (а іноді і ступінь їх точності);

– сукупність елементарних об'єктів дослідження, на яку ми хочемо поширити справедливості дії виявлених у результаті аналізу статистичних залежностей (якщо, наприклад, елементарна одиниця – сім'я, то аналізованою сукупністю можуть бути сім'ї певної соціальної групи населення або сім'ї певної країни тощо);

– загальний час і трудовитрати, відведені на плановане дослідження та відповідна часова тривалість та обсяг необхідного статистичного обстеження (яку частину аналізованої сукупності піддати статистичному обстеженню, проводити статистичне обстеження у статистичному або динамічному режимі тощо).

У вирішенні всіх перелічених питань першого етапу дослідження головну роль, безперечно, повинен грати «замовник», тобто фахівець тієї предметної галузі, для якої планується проведення цього дослідження.

Етап 2 (інформаційний). Він полягає у проведенні збору необхідної статистичної інформації виду:

$$(x_1, x_2, \dots, x_p; y_1, y_2, \dots, y_m) \quad (4)$$

При цьому можливі дві принципово різні ситуації: 1) дослідник має можливість заздалегідь спланувати вибіркоче обстеження частини аналізованої сукупності - вибрати спосіб відбору елементарних одиниць статистичного обстеження (випадковий, пропорційний, стратифікований, кластерний тощо). Для пояснюючих змінних  $(x_1, x_2, \dots, x_p)$  призначити рівні їх значень, на яких бажано зробити експеримент чи спостереження (умови активного експерименту); 2) дослідник отримує вихідні дані такими, якими вони були зібрані без його участі (умови пасивного експерименту).

Етап 3 (кореляційний аналіз). Цей етап дозволяє відповісти на запитання, чи взагалі є якийсь зв'язок між досліджуваними змінними, яка структура цих зв'язків і як виміряти їх тісноту? Оскільки перелічені вище питання вирішуються за допомогою обчислення та аналізу відповідних кореляційних характеристик, зміст етапу можна визначити як проведення кореляційного аналізу. Етап досить повно оснащений необхідним математичним апаратом та програмним забезпеченням, тому може бути майже повністю автоматизований.

Етап 4 (визначення класу допустимих рішень). Головною метою дослідника на цьому етапі є визначення загального виду, структури шуканого зв'язку між  $\vec{Y}$  і  $\vec{X}$ , або, іншими словами, опис класу функцій  $f$ , в рамках якого він буде проводити подальший пошук конкретного виду залежності. Найчастіше цей опис дається у формі деякого параметричного сімейства функцій  $f(\vec{X}; \theta)$ , тому цей етап називають також *етапом параметризації моделі*.

Наступні два етапи – 5-й і 6-й – пов'язані з проведенням певного обсягу обчислень і реалізуються по суті паралельно.

Етап 5 (аналіз мультиколінеарності передбачуваних змінних та відбір найбільш інформативних з них). Під явищем мультиколінеарності в регресійному аналізі розуміється наявність тісних статистичних зв'язків між пояснювальними змінними  $(x_1, x_2, \dots, x_p)$ , що, зокрема, проявляється в близькості до нуля (слабкої обумовленості) визначника їх кореляційної матриці. Оскільки цей визначник

входить у знаменник для важливих характеристик аналізованих моделей, то мультиколінеарність створює труднощі та незручності під час статистичного дослідження щонайменше у двох напрямках:

– у реалізації необхідних обчислювальних процедур і, зокрема, в крайній нестійкості одержуваних при цьому числових характеристик аналізованих моделей (так, коефіцієнти при пояснюючих змінних можуть змінюватися в декілька разів і навіть міняти знак при додаванні (або виключенні) до масиву початкових статистичних даних одного-двох об'єктів або однієї-двох пояснюючих змінних).

– у змістовній інтерпретації параметрів аналізованої моделі, що грає вирішальну роль у ситуаціях, коли кінцевою метою дослідження є мета типу «виявлення причинних зв'язків» тощо.

Тому дослідник намагається перейти до такої нової системи пояснюючих змінних (відібраних із числа вхідних змінних або представлених у вигляді деяких їх комбінацій), у якій ефект мультиколінеарності вже не мав би місця. Етап проводиться в основному силами математиків-статистиків з підключенням (у самому його кінці) спеціалістів відповідної предметної області для вибору з кількох запропонованих варіантів наборів такого єдиного набору, що найбільш легко і природно інтерпретується.

Етап 6 (вирахування оцінок невідомих параметрів, що входять до досліджуваного рівняння статистичного зв'язку). На цьому етапі визначається найкраща апроксимація  $\hat{f}(\vec{X})$ , яка є рішенням оптимізаційної задачі, де оптимізується функціонал якості апроксимації. Наприклад, при застосуванні апроксимації методом найменших квадратів задача оптимізації функціоналу цього методу полягає в знаходженні таких параметрів, які мінімізують цей функціонал, тобто знаходяться такі параметри, при яких сума квадратів похибок приймає найменше значення.

Етап 7 (аналіз точності отриманих рівнянь зв'язку). На даному етапі вирішуються такі основні завдання аналізу точності отриманої регресійної залежності:

– коли на 6-ому етапі оцінюються значення параметрів  $\theta$  для функції зв'язку  $f(\vec{X}; \theta)$  і знаходиться найкраще, в деякому сенсі (оптимізується функціонал якості апроксимації), значення  $\hat{\theta}$ , то виникає питання наскільки точно істинне значення параметрів  $\theta$  апроксимується оцінками  $\hat{\theta}$ . Формально треба визначити, що істинне значення параметрів  $\theta$  наближується (апроксимується) з похибкою  $\delta$  оцінками  $\hat{\theta}$  з ймовірністю, не меншою ніж  $1 - \alpha$  (довірчою ймовірністю;  $\alpha$  – рівень значущості), а саме має місце нерівність (точність апроксимації):

$$|\theta - \hat{\theta}| < \delta;$$

– при заданій довірчій ймовірності  $1 - \alpha$ , об'ємі вибірки  $n$  і значення пояснюють змінних  $\vec{X}$  вказати таку граничну (гарантовану) величину похибки  $\delta$ , що нерівність:

$$|\vec{Y}_{cp}(\vec{X}) - \hat{f}(\vec{X})| < \delta$$

виконується з ймовірністю, не меншою, ніж  $1 - \alpha$ . Тут  $\vec{Y}_{cp}(\vec{X})$  – невідоме умовне середнє значення досліджуваного результуючого показника при значеннях пояснюючих змінних, рівних  $\vec{X}$ ;

– при заданій довірчій ймовірності  $1 - \alpha$ , об'ємі вибірки  $n$  і значення пояснюють змінних  $\vec{X}$  вказати таку граничну (гарантовану) величину похибки  $\delta$ , що нерівність:

$$|\vec{Y}(\vec{X}) - \hat{f}(\vec{X})| < \delta$$

виконується з ймовірністю, не меншою, ніж  $1 - \alpha$ . Тут  $\vec{Y}(\vec{X})$  – прогнозоване індивідуальне значення досліджуваного результуючого показника при значеннях пояснюючих змінних, рівних  $\vec{X}$ .

Зауважимо на закінчення, що частина дослідження, що об'єднує етапи 4, 5, 6 та 7, прийнято називати *регресійним аналізом*.

*Етап 8 (знаходження ступені тісноти статистичного зв'язку – коефіцієнта детермінації)*. Ступінь тісноти статистичного зв'язку, що існує між результуючим показником  $\vec{Y}$  і пояснюючою змінною  $\vec{X}$  описується коефіцієнтом детермінації. Очевидно, ступінь тісноти цього зв'язку може вважатися максимальним, якщо за

заданим значенням пояснюючої змінної  $\vec{X}$  можна однозначно (без будь-якої випадкової помилки) відновити відповідне значення результуючого показника  $\vec{Y}(\vec{X})$ . І навпаки: якщо значення величин  $\vec{X}$  не несе жодної інформації про значення результуючого показника, тобто зв'язок відсутній зовсім, і відповідний вимірник ступеня її тісноти повинен приймати мінімальне (на обраній шкалі) можливе значення. Розглянемо статистичну залежність (для простоти вважаємо показник  $Y$  одномірним):

$$Y = f(\vec{X}) + \varepsilon \quad (4)$$

де  $\varepsilon$  – випадковий «залишковий» компонент, що не залежать від предикторів  $\vec{X}$  і відображає вплив неврахованих «на вході» факторів, а також випадкові помилки у вимірі показника  $Y$  «на виході». Загальна дисперсія  $DY$  показника  $Y$  складається з дисперсій доданків

$$DY = Df(\vec{X}) + D\varepsilon \quad (7)$$

*Коефіцієнтом детермінації* зв'язку  $f$  показника  $Y$  по  $\vec{X}$  називається:

$$K_f(Y, \vec{X}) = 1 - \frac{D\varepsilon}{DY} \quad (8)$$

Легко бачити, що введений коефіцієнт детермінації визначає в якості шкали вимірювання показника зв'язку відрізок  $[0; 1]$ , причому мінімальне (нульове) значення  $K_f(Y, \vec{X})$  відповідає повній відсутності будь-якого зв'язку виду  $f$  між  $Y$  і  $\vec{X}$  (оскільки в цьому випадку, як ми бачили  $D\varepsilon = DY$ ), а максимальне значення  $K_f(Y, \vec{X}) = 1$  відповідає випадку чисто функціональної залежності  $f$  між  $Y$  і  $\vec{X}$ , коли значення  $Y$  може бути точно відновлено за значенням  $\vec{X}$ :

$$Y = f(\vec{X}) \quad (9)$$

оскільки  $D\varepsilon = 0$  означає, що  $\varepsilon = 0$ .

*Розробка статистичних методів класифікації об'єктів та ознак.*

Поділ аналізованої сукупності об'єктів чи явищ на однорідні (у певному сенсі) групи називається *класифікацією*. При цьому термін класифікація використовують, залежно від контексту, для позначення як самого *процесу* поділу, так і його *результату*. Це поняття тісно пов'язане з такими термінами, як угруповання,

типологізація, систематизація, дискримінація, кластеризація, і є одним з основоположних у практичній та науковій діяльності людини.

Серед типів прикладних завдань класифікації слід виділити:

1) комбінаційні угруповання та їх безперервні узагальнення - розбиття сукупності на інтервали (області) групування;

2) проста типологізація: виявлення природного розшарування аналізованих даних (об'єктів) на чітко виражені «згустки» (кластери), що лежать один від одного на деякій відстані, але не розбиваються на так само віддалені один від одного частини;

3) зв'язкова неупорядкована типологія. використання реалізованої у просторі результуючих показників простої типологізації як навчальних вибірок при класифікації тієї ж сукупності об'єктів у просторі описових ознак;

4) зв'язкова впорядкована типологізація, яка відрізняється від зв'язкової неупорядкованої можливістю експертного впорядкування класів, отриманих у просторі результуючих показників, та використанням цього впорядкування для побудови зведеного латентного результуючого показника як функції від описових змінних;

5) структурна типологізація дає на «виході» завдання додатково до опису класів ще й опис існуючих з-поміж них та його елементами структурних (зокрема ієрархічних) зв'язків;

6) типологізація динамічних траєкторій системи, як класифіковані об'єкти виступають характеристики динаміки досліджуваних систем, наприклад, дискретні або безперервні часові ряди або траєкторії систем, які в кожен момент часу можуть перебувати в одному із заданих станів.

Визначальним моментом у виборі відповідної математичної постановки для конкретної задачі класифікації є відповідь на питання, на якій вхідній інформації будуть засновані наші висновки. Вхідну інформацію доцільно поділяти на: а) апріорні відомості про шукані класи; б) попередню вибіркочну інформацію (так звані навчальні вибірки); в) спостереження, які підлягають класифікації.

Якщо дослідник (статистик, економетрист) має в своєму розпорядженні, поряд з класифікованими даними, так звані навчальні вибірки, то для вирішення завдання класифікації він повинен звернутися до методів дискримінантного аналізу. Кожен клас інтерпретується як одномодальна генеральна сукупність, закон розподілу ймовірностей якої оцінюється відповідною навчальною вибіркою. Якщо апріорна інформація дозволяє зробити висновок про загальний параметричний вид закону розподілу ймовірностей кожного класу, то використовують методи *параметричного дискримінантного аналізу*. Якщо загальний вигляд закону розподілу всередині класів невідомий, то навчальні вибірки використовуються для отримання непараметричних оцінок внутрішньокласових законів розподілу ймовірностей, а самі процедури класифікації називають *непараметричним*.

Загальна постановка задачі класифікації об'єктів за умов відсутності навчальних вибірок (тобто завдання автоматичної класифікації) полягає у вимозі розбиття цієї сукупності на деяке число (заздалегідь відоме чи ні) однорідних у деякому сенсі класів. При цьому апріорні відомості про класи, що визначаються, можуть давати підстави для того, щоб інтерпретувати кожен шуканий клас як параметрично задану одномодальну генеральну сукупність, і тоді для побудови правила класифікації може бути використана модель суміші розподілів. При більш мізерних апріорних відомостях про класи використовуються методи і моделі кластер-аналізу, включаючи *ієрархічні методи класифікації*.

Вирішити задачу розщеплення суміші розподілів (у вибірковому варіанті) – це означає за наявною вибіркою класифікованих спостережень, витягнутої з генеральної сукупності, що є сумішшю генеральних одномодальних сукупностей відомого параметричного виду, побудувати статистичні оцінки для числа компонентів суміші, їх питомих ваг і параметрів. Після цього віднесення спостережень, що класифікуються, до того чи іншого класу проводиться за тими ж правилами, що і в схемі дискримінантного аналізу. У теоретичному варіанті завдання розщеплення суміші полягає у відновленні компонентів суміші та змішуючої функції (питомих ваг) за заданим розподілом усієї (тобто змішаної)

генеральної сукупності і називається завданням дентифікації компонентів суміші (ця задача не завжди має рішення).

Базова ідея, що лежить в основі прийняття рішення, до якої з аналізованих генеральних сукупностей слід віднести спостереження, що класифікується, є однією і тією ж як для моделі дискримінантного аналізу (класифікація за наявності навчання), так і для моделі суміші : і в тому, і в іншому випадку спостереження приписують до тієї генеральної сукупності (до того компонента суміші), в рамках якої (якого) воно виглядає найбільш правдоподібним. Однак головна відмінність схеми параметричного дискримінантного аналізу від схеми автоматичної класифікації, побудованої на моделі суміші розподілів, – у способі оцінювання невідомих параметрів, від яких залежать функції, що описують класи (у першому випадку – за навчальними вибірками, а в другому набагато складніше - в рамках одного з методів оцінки параметрів суміші розподілу).

У статистичних класифікаційних процедурах ієрархічного типу головною метою аналізу є отримання наочного уявлення про стратифікаційну структуру всієї класифікованої сукупності у вигляді *дендрограми*.

*Зниження розмірності досліджуваного ознакового простору з метою лаконічного пояснення природи аналізованих багатовимірних даних.*

У дослідницької та практичної статистичної діяльності часто доводиться мати справу з вихідними даними високої розмірності, тобто з ситуаціями, коли кількість показників, що реєструються на кожному зі статистично обстежених об'єктів, становить кілька десятків, а іноді – сотні і навіть тисячі. У таких ситуаціях легко можна пояснити бажання дослідника істотно знизити розмірність аналізованого ознакового простору, тобто перейти від вихідного набору показників до невеликої кількості допоміжних змінних (які або відбираються з числа вхідних, або будуються за певним правилом за сукупністю вхідних показників), за якими згодом він міг би досить точно відтворити цікаві для його властивості аналізованого масиву даних. Одним з найбільш поширених методів зниження розмірності досліджуваного ознакового простору є метод *головних компонент*.

Є щонайменше три основних типи принципів передумов, що зумовлюють можливість практично «безболісного» переходу від великої кількості вихідних показників стану (поведінки, якості, ефективності функціонування) аналізованого об'єкта до значно меншого числа найбільш інформативних змінних. Це, по-перше, дублювання інформації, що доставляється сильно взаємозалежними показниками; по-друге, неінформативність показників, що мало змінюються при переході від одного об'єкта до іншого (мала варіабельність показника); по-третє, можливість агрегування, тобто простого чи виваженого підсумовування деяких фізично однотипних показників.

Метод головних компонент використовуються під час вирішення наступних основних типів завдань аналізу даних:

1) спрощення, скорочення розмірностей аналізованих моделей статистичного дослідження залежностей або класифікації з метою полегшення підрахунку та інтерпретації одержуваних статистичних висновків;

2) наочне уявлення (візуалізація) вихідних багатовимірних даних, одержуване з допомогою їх проектування в простір, що натягнуті на першу, або перші дві, або перші три основні компоненти;

3) попередня ортогоналізація пояснюючих змінних у задачах побудови регресійних залежностей як засіб «боротьби» з мультиколінеарністю;

4) стиск обсягів збереженої статистичної інформації

Поруч із математико-статистичними методами зниження розмірності, тобто з методами, що допускають опис та інтерпретацію у термінах ймовірнісної моделі, існують і широко використовуються у статистичній практиці так звані *евристичні методи*. Свою назву вони виправдовують тим, що зазвичай породжуються деякими окремими цільовими установками, вираженими у вигляді встановлених на *змістовно-суб'єктивному* рівні оптимізованих критеріїв якості рішення задачі. До таких методів, зокрема, належать методи екстремального угруповання, метод кореляційних плеяд тощо.

## *Тема 9. Ймовірно-статистичні моделі. Верифікація моделей*

Як зазначалось вище теоретико-імовірнісна модель – це математична модель, що імітує механізм функціонування гіпотетичного (не конкретного) реального явища (або системи) стохастичної природи. На відміну від теоретико-імовірнісних моделей *імовірно-статистична модель* – це імовірнісна модель, значення окремих характеристик (параметрів) якої оцінюються за результатами спостережень (вхідними статистичними даними), що характеризують функціонування модельованого конкретного (а не гіпотетичного) явища (або системи).

Імовірно-статистична модель, що описує механізм функціонування економічної або соціально-економічної системи, називається *економетричною*. Якщо ж йдеться про будь-яку математичну модель, яка описує механізм функціонування певної гіпотетичної економічної або соціально-економічної системи, то таку модель прийнято називати *економіко-математичною* або просто *економічною*.

*Основні етапи імовірно-статистичного моделювання.*

Побудова та експериментальна перевірка (*верифікація*) ймовірності статистичної моделі зазвичай ґрунтуються на одночасному використанні інформації двох типів:

1) апріорної інформації про природу та змістовну сутність аналізованого явища, представленій, як правило, у вигляді тих чи інших теоретичних закономірностей, обмежень, гіпотез;

2) вхідних статистичних даних, що характеризують процес та результати функціонування аналізованого явища або системи.

Можна виділити такі основні етапи імовірно-статистичного моделювання.

*1-й етап* (постановний) включає визначення: кінцевих прикладних цілей моделювання; набору факторів та показників (змінних), опис взаємозв'язків які нас цікавлять; нарешті, ролі цих факторів і показників – які з них, в рамках поставленої конкретної задачі, можна вважати вхідними (тобто повністю або частково регульовані або хоча б легко піддаються реєстрації та прогнозу; подібні фактори несуть смислове навантаження що пояснюють у моделі), а які – вихідними (ці

фактори зазвичай важко піддаються безпосередньому прогнозу; їх значення формуються як би в процесі функціонування моделі, що моделюється, а самі фактори несуть смислове навантаження пояснюваних змінних).

2-й етап (апріорний, передмодельний) полягає в передмодельному аналізі змістовної сутності модельованого явища, формуванні і формалізації наявної апріорної інформації про це явище у вигляді низки гіпотез і вихідних припущень (останні повинні бути підкріплені теоретичними міркуваннями про механізм вивчення або, якщо можливо, експериментальною перевіркою).

3-й етап (інформаційно-статистичний) присвячений збору необхідної статистичної інформації, тобто. реєстрації значень що беруть участь в описі моделі факторів і показників на різних тимчасових і (або) просторових тактах функціонування моделі, що моделюється.

4-й етап (специфікація моделі) включає в себе безпосередній висновок (що спирається на прийняті на 2-му етапі гіпотези і вихідні допущення) загального виду модельних співвідношень, які пов'язують між собою вхідні і вихідні змінні, що цікавлять нас. Говорячи про загальний вигляд модельних співвідношень, ми маємо на увазі ту обставину, що на даному етапі буде визначена лише структура моделі, її символічний аналітичний запис, в якому поряд з відомими числовими значеннями (представленими в основному вихідними статистичними даними) будуть присутні величини, змістовний сенс яких визначено, а числові значення – ні (їх зазвичай називають параметрами моделі, невідомі значення яких підлягають статистичному оцінюванню).

5-й етап (ідентифікованість та ідентифікація моделі) призначений для проведення статистичного аналізу моделі з метою «налаштування» значень її невідомих параметрів на ті вихідні статистичні дані, які ми маємо. При реалізації цього етапу «модельєр» повинен спочатку відповісти на питання, чи можливо в принципі однозначно відновити значення невідомих параметрів моделі за наявними статистичними даними при прийнятій на 4-му етапі структурі (спосіб специфікації) моделі. Це становить так звану проблему ідентифікованості моделі. А потім, після позитивної відповіді на це питання, необхідно вирішити вже проблему ідентифікації

моделі, тобто запропонувати і реалізувати математично коректну процедуру оцінювання невідомих значень параметрів моделі за наявними вихідними статистичними даними. Якщо проблема ідентифікованості вирішується негативно, то повертаються до 4-го етапу і вносять необхідні корективи у вирішення завдання специфікації моделі.

6-й етап (верифікація моделі) полягає у використанні різних процедур зіставлення модельних висновків, оцінок, наслідків і висновків з реальною дійсністю. Цей етап називають також етапом статистичного аналізу точності та адекватності моделі. При песимістичному характері результатів цього етапу необхідно повернутися до етапу 4, інколи ж і до етапу 1.

Найважливішою умовою досягнення високої «працездатності» моделі є успішна реалізація другого етапу моделювання, тобто проведення ретельного передмодельного аналізу фізичної сутності досліджуваного явища з метою формування добротної апріорної інформації та її використання при виведенні (або виборі) загального виду шуканої моделі. Вимушена (але небажана) альтернатива такого підходу це логіка «чорного ящика», тобто. суто формальна апроксимація реальних даних.

#### *Статистичне оцінювання параметрів*

Одна з головних цілей, які ставить перед собою дослідник, приступаючи до статистичної обробки вихідних даних, полягає в тому, щоб домогтися зручної лаконічності в описі властивостей досліджуваної сукупності (або досліджуваного явища), що цікавлять його, тобто уявлення безлічі оброблюваних даних як порівняно невеликого числа зведених характеристик, побудованих виходячи з цих вхідних даних. При цьому бажано, щоб втрата інформації, суттєвої для ухвалення рішення, була мінімальною. Згадані зведені характеристики є функціями від вхідних результатів спостереження  $(x_1, x_2, \dots, x_p)$  і називаються статистиками. Прикладами таких зведених характеристик (статистик) слугують: вибіркові (емпіричні) характеристики генеральної сукупності — середні значення, дисперсії, коефіцієнти ексцесу та асиметрії, нарешті, емпірична функція розподілу та емпірична щільність.

Домогтися лаконічності в описі інформації, що міститься в масиві даних, що допомагає цілий набір прикладних методів математичної статистики: вибір і обґрунтування математичної моделі механізму досліджуваного явища; вивчення властивостей аналізованої системи або механізму функціонування за допомогою невеликої кількості зведених вибіркових характеристик (середнього, дисперсії тощо); наочне уявлення (візуалізація) вихідних даних з метою формування робочих гіпотез про механізм досліджуваного явища; аналіз відносних частот, вибіркової функції розподілу та щільності та інші методи описової (або дескриптивної) статистики; аналіз природи оброблюваних даних; опис цікавих дослідних зв'язків між аналізованими ознаками тощо. Всі ці методи тією чи іншою мірою спираються на дві основні складові математичного апарату статистики: 1) теорію статистичного оцінювання невідомих значень параметрів, що беруть участь у описі аналізованої моделі; 2) теорію перевірки статистичних гіпотез про параметри або природу аналізованої моделі.

Статистика (у вузькому значенні), використовувана як наближеного значення невідомого параметра, називається статистичною оцінкою. Виникає питання про вимоги, які слід пред'явити до статистичних оцінок, щоб ці оцінки були в певному сенсі надійними. Ці вимоги зазвичай формулюються за допомогою наступних трьох властивостей оцінок: незміщеності, слушності і ефективності.

Незміщеність оцінки. Оцінка  $\hat{\theta} = \hat{\theta}(x_1, x_2, \dots, x_n)$  невідомого параметра  $\theta$  називається незміщеною, якщо при будь-якому обсязі вибірки  $n$  результат її усереднення по всіх можливих вибірках даного обсягу призводить до точного істинного значення оцінюваного параметру, тобто

$$E \hat{\theta} = \theta.$$

Слушність оцінки. Оцінка  $\hat{\theta} = \hat{\theta}(x_1, x_2, \dots, x_n)$  невідомого параметра  $\theta$  називається слушною, якщо зі зростанням числа спостережень  $n$  вона прямує за ймовірністю до значення  $\theta$ , що оцінюється.

Ефективність оцінки. Оцінка  $\hat{\theta}$  параметра  $\theta$  називається ефективною, якщо вона серед усіх інших оцінок того ж самого параметру має найменшу міру випадкового розкиду щодо істинного значення параметра, що оцінюється.

Основними методами побудови статистичних оцінок є:

- метод максимальної правдоподібності;
- метод моментів;
- метод, який використовує «зважування» спостережень, – цензурування, урізання, порядкові статистики.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

1. Воронин А. А., Губко М. В., Мишин С. П., Новиков Д. А. Математические модели организаций: Учебное пособие. Москва: ЛЕНАНД, 2008. 360 с.
2. Самсонова Н. А. Методология моделирования социально-экономических систем. Вестник ЦЭМИ РАН. 2018. URL: <https://cemi.jes.su/s11111110000000-3-1/>
3. Клейнер Г.Б. Экономико-математическое моделирование и экономическая теория./ Экономика и математические методы, 2001, т. 37, №3.
4. Лопатников Л. И. Экономико-математический словарь : словарь современной экономической науки: 5-е изд. пер. и доп. Москва : Дело. 2003. 520 с.
5. Жигалкевич Ж. М. Науково-методичні аспекти логіко-структурного моделювання кластерних утворень в машинобудуванні. Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». 2010. № 61. 151 с. С. 96-103.
6. Перегудов Ф.И., Тарасенко Ф.П. Введение в системный анализ. Москва: Высшая школа, 1989.
7. Новиков Д.А. Теория управления организационными системами. 2-е изд. Москва: Физматлит, 2007.
8. Никаноров С.П. Системный анализ и системный подход В кн: Системные исследования. Ежегодник 1971. М., 1972.
9. Корнев Г. Н., Яковлев В. Б. Системный экономический анализ. Москва: ОнтоПринт, 2010. 240 с.
10. Гончаров В. И. Менеджмент: Учеб. пособие. Минск: Мисанта, 2003. 624 с.
11. Клиланд Д., Кинг В. Системный анализ и целевое управление. Пер. с англ. Москва: Советское радио, 1974. 280 с.
12. Волкова В. Н., Денисов А. А. Теория систем и системный анализ : учебник для академического бакалавриата. 2-е изд., перераб. и доп. Москва : Юрайт, 2015. 616 с.
13. Антошкіна Л. І. Методологія економічних досліджень : Підручник. Київ: Знання, 2015. 311 с.

14. Егорова Н. Е. Применение количественных методов для анализа сетевых структур. *Аудит и финансовый анализ*. 2006. № 1. С. 255–266.
15. Новиков А.М., Новиков Д.А. Методология. Москва: Синтег, 2007.
16. Адизес И. Управление жизненным циклом корпорации. Москва: Питер, 2007.
17. Минцберг Г. Структура в кулаке: создание эффективной организации. Москва: Питер, 2001.
18. Богданов А. А. Тектология: Всеобщая организационная наука. Москва: Финансы, 2003. 496 с.
19. Bertalanffy L. von. *Modern Theories of Development*. 1st ed. 1928 / Transl. by J. H. Woodger. New York: Harper Torchbooks, 1962. 244 p.
20. Хакен Г. Информация и самоорганизация; Макроскопический подход к сложным системам. Москва: Мир, 1991. 240 с.
21. Bertalanffy L. von. *Das Weltbild der Biologie. Europäische Rundschau*. 1948. Vol. 17. Pp. 782–785.
22. Bertalanffy L. von. *General System Theory – A critical review. General Systems*. 1962. Vol. 7. Pp. 1–20.
23. Turing A. M. The chemical basis of morphogenesis. *Philosophical transactions of the Royal society of London. Ser. Biological sciences*. 1952. Vol. 237. No 641. Pp. 37–72.
24. Жигалкевич Ж.М. Цільові орієнтири розвитку квазіінтеграційних структур взаємодіючих підприємств. Херсон: ПП Вишемирський, 2020. 300 с.
25. Погребной В.К. Метод интеграции структурных различий в графовых моделях и его применение для описания структур. *Известия Томского политехнического университета*. 2011. Т. 318. № 5. С. 10–16.
26. Durugbo C., Hutabarat W., Tiwari A., Alcock J.R. Modelling collaboration using complex networks. *Information Sciences*. 2011. Vol. 181 (15). Pp. 3143–3161.
27. Губко М.В., Новиков Д.А. Теория игр в управлении организационными системами. Москва: Синтег, 2002.

28. Данилов В.И. Лекции по теории игр. Москва: Российская экономическая школа, 2002.
29. Олейнов А.Г. Экономическая модель человека: от максимизации полезности к удовлетворению потребностей. *Вестник МГИМО-Университета*. 2010. №6. С.240-247.
30. Модель раціональної залежності. URL: <https://ua.wikipedia.org/wik/>
31. Швери Р. Теория естественного выбора: универсальное средство или экономический империализм? *Вопросы экономики*. 1997. №7.
32. Рішення. URL: <https://studfile.net/preview/2798320/page:26/>
33. Пилипенко А. А. Стратегічна інтеграція підприємств: механізм управління та моделювання розвитку: монографія. Харків: ІНЖЕК, 2008. 408 с.
34. Teece D. J., Pisano G., Shuen A. Dynamic Capabilities and Strategic Management. *Strategic Management Journal*. 1997. Vol. 18. No 7. Pp. 509–533.
35. Семь нот менеджмента. Настольная книга руководителя / под ред. В. В. Кондратьева. 7-е изд., доп. Москва: Эксмо, 2002. 976 с.
36. Новиков Д.А. Сетевые структуры и организационные системы. Москва: ИПУ РАН, 2003.
37. Губко М.В., Новиков Д.А. Теория игр в управлении организационными системами. Москва: Синтег, 2002.
38. Myerson R.B. Game theory: analysis of conflict. London: Harvard Univ. Press, 1991.
39. Solntsev S., Zhygalkevych Zh., Kravchenko M. Evaluation of risk impact on implementation of innovation projects within the framework of machine-building quasi-integration structures. *Baltic Journal of Economic Studies*. 2020. 6(3), Pp. 124–135.
40. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. Москва : Радио и связь, 1993. 278 с.
41. Саати Т. Об измерении неосязаемого. Подход к относительным измерениям на основе главного собственного вектора матрицы парных сравнений. *Cloud of Science*. 2015. Т. 2. № 1, с.5-39.
42. Андронов А. А. Теория колебаний. М.: Изд-во Физ.-мат. лит., 1959. 916 с.

43. Арнольд В. И. «Жесткие» и «мягкие» математические модели. Москва: МЦНМО, 2004. 32 с.
44. Овсиевич Б.И. Модели формирования организационных структур. Ленинград: Наука, 1979.
45. Губко М.В., Коргин Н.А., Новиков Д.А. Классификация моделей анализа и синтеза организационных структур. Управление большими системами. 2004. № 6. С. 5–21.
46. Van Zandt T. Efficient Parallel Addition / Unpub. ms. AT&T Bell Laboratories, Murray Hill, NJ, 1990.
47. Garicano L., Hubbard T.N. Hierarchies, Specialization, and the Utilization of Knowledge: Theory and Evidence from the Legal Services Industry. – NBER Working Paper 10432, 2004.

## ДОДАТКИ

### Додаток А

#### Перелік орієнтовних тем реферату

1. Системи і моделі.
2. Дослідження операцій в управлінні на промисловому підприємстві та його процесами.
3. Стійкість принципів оптимальності на промисловому підприємстві.
4. Проблема ідентифікації в моделюванні організаційних структур промислових підприємств
5. Теорія автоматичного регулювання
6. Моделювання економічних систем та процесів
7. Імітаційне моделювання та ділові ігри
8. Комплексне оцінювання
9. Експертні оцінки в прийнятті рішень на промисловому підприємстві
10. Багатокритеріальне прийняття рішень на промисловому підприємстві
11. Рефлексія в прийнятті рішень на промисловому підприємстві
12. Теорія корисності
13. Теорія вибору
14. Відносні переваги
15. Суб'єктивність в прийнятті рішень на промисловому підприємстві
16. Некооперативні ігри
17. Кооперативні ігри
18. Повторювані гри
19. Ієрархічні ігри
20. Рефлексивні ігри
21. Обмежена раціональність
22. Нечіткі множини
23. Моделі колективної поведінки на промисловому підприємстві
24. Моделі узгодження інтересів на промисловому підприємстві
25. Базові системи стимулювання на промисловому підприємстві
26. Управління складом та структурою організаційних структурна промисловому підприємстві
27. Інституційне та інформаційне управління організаційними структурами на промисловому підприємстві
28. Управління динамічними організаційними структурами на промисловому підприємстві
29. Управління багатoelementними організаційними структурами на промисловому підприємстві
30. Управління організаційними структурами з розподіленим контролем та невизначеністю на промисловому підприємстві
31. Управління організаційними структурами з обмеженнями спільної діяльності на промисловому підприємстві
32. Механізми фінансування на промисловому підприємстві

33. Моделі і методи внутрішньофірмового управління на промисловому підприємстві
34. Стійкість рішень задач управління організаційними системами на промисловому підприємстві
35. Організаційні механізми управління проектам на промисловому підприємстві
36. Розвиток моделей формування організаційних структур промислових підприємств
37. Загальна модель оптимізації ієрархічних структур на промисловому підприємстві
38. Алгоритми пошуку оптимальних ієрархій на промисловому підприємстві
39. Оптимальні дерева при однорідних функціях витрат менеджерів на промисловому підприємстві
40. Зв'язок між завданнями стимулювання і завданнями формування організаційної ієрархії на промисловому підприємстві
41. Типові організаційні структури промислових підприємств
42. Класична теорія фірми
43. Багаторівневі організаційні ієрархії
44. Команди на промисловому підприємстві
45. Динаміка організаційних структур на промисловому підприємстві
46. Мережеві і ієрархічні організаційні структури на промисловому підприємстві
47. Ієрархічні ігри та організаційні структури на промисловому підприємстві

## Додаток Б

### Перелік питань, які виносяться на екзамен

1. Види моделей
2. Функції моделювання
3. Методи моделювання
4. Моделювання і системний підхід
5. Якісні методи моделювання
6. Кількісні методи моделювання (математичне моделювання)
7. Стійкість і оптимізація
8. Адекватність моделей
9. Моделі управління промисловим підприємством та його процесами
10. Базова модель раціональної поведінки
11. Функції корисності
12. Відносні переваги
13. Прийняття рішень в умовах природної невизначеності на промисловому підприємстві
14. Інтервальна невизначеність
15. Імовірнісна невизначеність
16. Нечітка невизначеність
17. Прийняття рішень в умовах ігрової невизначеності на промисловому підприємстві
18. Ігри в нормальній формі
19. Ієрархічні ігри
20. Рефлексивні ігри
21. Ігри та організаційні структури
22. Класифікація задач управління організаційними структурами на промисловому підприємстві
23. Завдання стимулювання
24. Базові механізми стимулювання на промисловому підприємстві
25. Механізми стимулювання за індивідуальні результати на промисловому підприємстві
26. Механізми стимулювання колективу агентів
27. Механізми уніфікованого стимулювання на промисловому підприємстві
28. Механізми економічної мотивації на промисловому підприємстві
29. Механізми стимулювання в системах з розподіленим контролем
30. Механізми стимулювання в умовах невизначеності на промисловому підприємстві
31. Механізми стимулювання в умовах зовнішньої невизначеності (дискретна модель)
32. Механізми стимулювання в умовах зовнішньої невизначеності (безперервна модель)
33. Механізми стимулювання в умовах внутрішньої невизначеності на промисловому підприємстві
34. Види моделей ієрархічних структур на промисловому підприємстві

35. Класифікація моделей ієрархічних структур
36. Багаторівневі симетричні ієрархії
37. Ієрархії знань
38. Багаторівневі ієрархії обробки інформації на промисловому підприємстві
39. Ієрархії і теорія команд
40. Ієрархії прийняття рішень на промисловому підприємстві
41. Ієрархії і теорія контрактів
42. Базова модель ієрархії управління промисловим підприємством і його процесами
43. Ієрархії управління технологічної мережею на промисловому підприємстві
44. Керуючі витрати і оптимальна ієрархія на промисловому підприємстві
45. Оптимальна ієрархія, керуюча симетричною виробничою лінією
46. Функціонально пов'язані виробничі лінії на промисловому підприємстві
47. Продуктові та функціональні потоки на промисловому підприємстві
48. Дивізіони та департаменти на промисловому підприємстві
49. Типові ієрархії на промисловому підприємстві
50. Функції витрат менеджерів на промисловому підприємстві
51. Умови оптимальності дивізіональної, функціональної та матричної ієрархій
52. Загальна модель ієрархії управління на промисловому підприємстві
53. Групи виконавців і секційні функції витрат на промисловому підприємстві
54. Властивості секційних функцій витрат на промисловому підприємстві
55. Приклади секційних функцій витрат на промисловому підприємстві
56. Оптимальні дерева при однорідній функції витрат на промисловому підприємстві
57. Однорідні функції витрат на промисловому підприємстві
58. Нижня оцінка витрат оптимального дерева на промисловому підприємстві
59. Модель організаційної ієрархії на промисловому підприємстві
60. Витрати на управління і розмір організації на промисловому підприємстві