

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ І.І. МЕЧНИКОВА
ЕКОНОМІКО-ПРАВОВИЙ ФАКУЛЬТЕТ
НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ ІНСТИТУТ ФІЗИКИ
Кафедра економічної кібернетики та інформаційних технологій

ТЮРИН О.В.
АХМЕРОВ О.Ю.

ТЕОРІЯ СИСТЕМ І СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ В ЕКОНОМІЦІ
навчальний посібник

ОДЕСА 2019

УДК 512.64+514.12
ББК 22.1

Рекомендовано до друку Вченою радою
ОНУ імені І. І. Мечникова
Протокол № 8 від 23.04.2019

Рецензенти:

О. Р. Гохман – доктор фізико-математичних наук, професор, завідувач кафедри фізики Південно-українського державного педагогічного університету імені К.Д.Ушинського;

З. М. Соколовська – доктор економічних наук, професор завідувачка кафедри економічної кібернетики та інформаційних технологій Одеського національного політехнічного університету;

О. В. Дрозд – доктор технічних наук, професор кафедри “Комп’ютерні інтелектуальні системи та мережі” Одеського національного політехнічного університету

Тюрин О. В., Ахмеров О. Ю.

Теорія систем і системний аналіз в економіці: навчальний посібник/

О. В. Тюрин, О. Ю. Ахмеров – Одеса: «Одеський національний університет імені І.І.Мечникова», 2019. – 170 с.

Навчальний посібник написано відповідно до програми курсу навчальної дисципліни «Теорія систем і системний аналіз», що читається магістрам за фахом «Економіка». Викладено основи теорії систем і системного аналізу з метою оволодіння студентами знаннями про закони і моделі систем, методів аналізу і синтезу систем; розвиток умінь застосовувати закони, моделі і методи систем; навичок вирішення проблем методами системного аналізу.

УДК 512.64+514.12

ББК 22.1

Тюрин О. В., 2019

Одеський національний університет імені І. І. Мечникова, 2019

ЗМІСТ

ВСТУП	4
ТЕМА 1. ОСНОВИ ТЕОРІЇ СИСТЕМ	5
1.1. Поняття системи, її властивості і мета	5
1.2. Зовнішнє середовище і ресурси системи	10
1.3. Поняття структури системи	12
1.4. Стан і типи поведінки системи	14
1.5. Зворотній зв'язок системи	16
1.6. Класифікація систем	19
1.7. Концептуальні питання теорії систем	22
1.8. Способи подання і опису систем	23
1.8.1. Принципи опису систем	23
1.8.2. Формалізація систем	26
ТЕМА 2. ОСНОВИ СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ	29
2.1. Поняття і основні принципи системного підходу	29
2.2. Моделювання як метод системного аналізу	33
2.3. Системне розуміння проблеми і цілі	40
2.3.1. Системне розуміння мети	40
2.3.2. Системне розуміння проблеми	45
2.4. Методи порівняння та вимірювання систем	51
ТЕМА 3. СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ	57
3.1. Аналіз систем управління	58
3.2. Синтез систем управління	63
3.2.1. Формування задуму і цілі створення системи управління	65
3.2.2. Формування варіантів нової системи управління	65
3.2.3. Приведення описів варіантів системи управління у взаємну відповідність	68
3.2.4. Розробка вимог та програм реалізації вимог до системи управління	70
3.2.5. Реалізація розроблених вимог до системи управління	70
3.3. Основні види і рівні аналізу і синтезу систем керування	73
3.3.1. Структурний аналіз і синтез систем управління	73
3.3.2. Функціональний аналіз і синтез систем управління	75
3.3.3. Інформаційний аналіз і синтез систем управління	80
3.3.4. Параметричний аналіз і синтез систем управління	83
3.3.5. Основні рівні аналізу і синтезу систем керування	84
ТЕМА 4. ЕКОНОМІЧНІ СИСТЕМИ	86
4.1. Поняття економічної системи, їх класифікація та моделі	86

4.2. Застосування системного аналізу в економіці	89
4.3. Методика системного аналізу економічних систем	92
4.4. Підприємство як цілеспрямована система	96
4.5. «Дерево цілей» і показники діяльності компанії	100
4.6. Інформаційні аспекти системного аналізу економічних систем	106
ТЕМА 5. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЕКОНОМІЧНИХ СИСТЕМ	133
5.1. Схема операційного дослідження економічної системи	134
5.2. Моделі та їх математичний опис	139
5.2.1. Модель «чорний ящик» і її опис	140
5.2.2. Концепція «зворотного зв'язку»	145
5.2.3. Найпростіша задача виробничого планування	155
5.2.4. Транспортне завдання	158
5.2.5. Моделювання банківських операцій	160
Контрольні питання до тем	175
РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА	169

ВСТУП

Теорія систем і системний аналіз - методологія наукового дослідження будь-яких об'єктів за допомогою представлення їх як систем і аналізу цих систем.

Методологія науки – це система принципів і підходів дослідницької діяльності, на які спирається дослідник (вчений) в ході отримання та розробки знань в рамках конкретної дисципліни: фізики, хімії, біології, математики, економіки, інформатики та інших розділів науки.

Вперше термін «теорія систем» використав біолог-теоретик і філософ Людвіг фон Бератланфі на філософському семінарі в кінці 40-х рр. XX століття. Йому зобов'язана своїм існуванням область знань під назвою «загальна теорія систем».

В 1948 р. виходить знаменита книга Н. Вінера «Кібернетика», в якій проголошується єдність принципів управління в біологічних і технічних системах, а пізніше – і в соціально-економічних. Це стало причиною виникнення в теорії систем наукового напрямку, який отримав назву «системний аналіз» – найбільш конструктивного з прикладних напрямків системних досліджень.

Можна дати таке визначення системного аналізу.

Сучасний системний аналіз є прикладною наукою, націленою на виявлення причин реальних складнощів, що виникли перед «володарем проблеми» (організація, установа, підприємство, колектив), і на вироблення варіантів їх усунення.

Мета системного аналізу полягає не тільки в розумінні функціонування системи – завданнями вищого рівня, виступають проектування, створення потрібної системи та управління нею.

В основі системного аналізу лежить системний підхід.

Системний підхід – це методологія наукового пізнання і практичної діяльності, а також пояснювальний принцип, в основі яких лежить розгляд об'єкта як системи.

об'єкт – позначає щось, на що спрямована практична або пізнавальна діяльність суб'єкта (спостерігача). Це щось може існувати як в реальній дійсності (річ, процес або явище), так і в вигаданому

світі (наприклад, об'єкт в програмуванні, математичний об'єкт); а об'єктом може бути і сам суб'єкт – особистість, соціальна група, або все суспільство.

Системний підхід полягає у відмові від односторонньо аналітичних, лінійно-причинних методів дослідження. Основний акцент при його застосуванні робиться на аналіз цілісних властивостей об'єкта, виявлення його різноманітних зв'язків і структури. Системний підхід представляється найбільш універсальним методом аналізу і дослідження будь-яких складних технічних, економічних, соціальних, екологічних, політичних, біологічних і інших систем.

Області застосування системного підходу і системного аналізу в практичній діяльності людей достатньо широкі – від техніки до економіки, від математики до соціального планування, від космічних досліджень до процесів навчання. У сучасному суспільстві системні уявлення вже досягли такого рівня, що думки про важливість і корисність системного підходу до вирішення всіх проблем є звичною або загально прийнятою. Не тільки вчені, а й інженери, і педагоги, юристи та діячі культури виявили системність у своїй діяльності і намагаються свою роботу усвідомлено систематизувати. Чим вище ступінь системності (у вирішенні проблем), тим ефективніше рішення будь-яких практичних завдань, так як системний підхід носить загальнотеоретичний характер і відображає інтеграційні процеси між елементами різних наук, які пронизують системну логіку як єдине ціле. Причому розвиток здійснюється на рівні нових (синтезованих) знань, які мають системоутворюючий характер (встановлення різних зв'язків, принципів, законів, закономірностей). Обов'язковими ознаками системності в практичній діяльності людей є наступні:

- 1) структурованість діяльності;
- 2) взаємопов'язаність складових частин діяльності;
- 3) підпорядкованість організації всієї діяльності досягненню певної мети.

Тепер переходимо до послідовного викладу основних понять і положень теорії систем і системного аналізу. Спочатку розглянемо

загальновизнані в цій області поняття, стосовно до різних напрямків знань і діяльності, а потім конкретно стосовно економіки.

ТЕМА 1. ОСНОВИ ТЕОРІЇ СИСТЕМ

1.1. Поняття системи, її властивості і мета.

У науковій та навчальній літературі існує велика кількість роз'яснень змісту наукового поняття в терміні «система». Крім того, цей термін увійшов досить широко для пояснення ряду узагальнень - економічна система, інформаційна система, соціальна система, енергетична система, система середньої та вищої освіти і так далі. Важливим засобом характеристики системи є її властивості. Основні властивості системи проявляються через цілісність, взаємодію і взаємозалежність процесів перетворення речовини, енергії та інформації, через її функціональність, структуру, зв'язки, зовнішнє середовище.

Властивість - це зовнішні прояви того процесу, за допомогою якого отримується знання про об'єкт, ведеться за ним спостереження. Властивості об'єкта сприймаються за допомогою органів почуттів і технічних засобів. Властивості забезпечують можливість описувати об'єкти системи кількісно, виражаючи їх у одиницях, що мають певну розмірність. Властивості об'єктів системи можуть змінюватися в результаті її дії.

Виділяють наступні **основні властивості системи**:

1. Система є, перш за все, сукупність **елементів**. При певних умовах елементи можуть розглядатися як системи. Система існує серед інших матеріальних об'єктів, які не увійшли в неї. Вони об'єднуються поняттям «**зовнішнє середовище**». По суті справи, окреслення або виявлення системи є поділ деякої області матеріального світу на дві частини, одна з яких розглядається як система - об'єкт аналізу (синтезу), а інша – як зовнішнє середовище. *Взаємозв'язок зовнішнього середовища і системи* можна вважати однією з основних особливостей функціонування системи, зовнішньою характеристикою системи, яка в значній мірі визначає її властивості.

2. Наявність істотних зв'язків між елементами і (або) їх властивостями, що перевершують за потужністю (силі) зв'язку цих елементів з елементами зовнішнього середовища, що не входять в дану систему. Під істотними зв'язками розуміють такі, які закономірно, з необхідністю визначають **інтегративні** (об'єднані) властивості системи. Зазначена властивість відрізняє систему від простого конгломерату і виділяє її з навколишнього середовища у вигляді цілісного об'єкта. **Цілісність** – це загальносистемна властивість, що полягає в тому, що зміна будь-якого компонента системи впливає на всі інші її компоненти і призводить до зміни системи в цілому; і навпаки, будь-яка зміна системи впливає на всі компоненти системи.

3. Наявність певної організації, що проявляється в структурованості системи та її **ієрархії** – *структура, що характеризується наявністю підпорядкованості*, тобто нерівноправними зв'язками між елементами, коли вплив в одному напрямку має більший вплив на елемент, ніж в іншому.

4. Існування інтеграційних властивостей, тобто притаманних системі в цілому, але не властивих жодному з її елементів окремо. Їх наявність свідчить, що властивості системи хоча і залежать від властивостей елементів, але не визначаються ними повністю. *Висновок: система не зводиться до простої сукупності елементів, і, розчленовуючи систему на окремі частини, не можна пізнати всі властивості системи в цілому.* Дана властивість системи отримало назву **емерджентність або емергентність** (від англ. *emergent* – виникає, несподівано з'являється) – наявність у системи особливих властивостей, які не притаманні її елементам, а також сумі елементів, не пов'язаних особливими системоутворюючими зв'язками; незвідність властивостей системи до суми властивостей її компонентів; синонім - **системний ефект**.

5. Системі притаманна **властивість розвиватися**, адаптуватися до нових умов шляхом створення нових зв'язків, елементів зі своїми локальними цілями і засобами їх досягнення. **Адаптивність** - здатність системи змінювати свою структуру і вибирати варіанти поведінки за

тими новими цілями системи і під впливом факторів зовнішнього середовища. **Адаптивна система** – така, в якій відбувається безперервний процес навчання або самоорганізації.

Системою може бути будь-який об'єкт живої і неживої природи, суспільства, процес або сукупність процесів і таке інше, якщо в них визначені елементи, що утворюють єдність (цілісність) зі своїми зв'язками і взаємозв'язками між ними, що створює в результаті сукупність властивостей, притаманних тільки даній системі, що і відрізняє її від інших систем.

Таким чином, в самому загальному випадку з урахуванням наведених вище властивостей:

система – це безліч складаючих єдність елементів, їх зв'язків і взаємодій між собою і між ними і зовнішнім середовищем, яка утворює притаманну даній системі цілісність, якісну визначеність і цілеспрямованість.

Виходячи із завдань управління і дослідження законів функціонування технічних, організаційно-економічних і соціальних систем і проблем, що виникають в них, прийmemo для подальшого наступне уточнення терміну «система»: **система** – це комплекс взаємопов'язаних частин, елементів або підсистем, об'єднаних дослідником для досягнення певної мети або набору цілей. Додатковою ознакою системи є приналежність кожного елемента і кожного зв'язку між елементами до виконання її цільової функції.

Інакше кажучи, будь-яка система повинна виконувати деякі функції: просто існує, є областю проживання іншої системи, обслуговує систему більш високого порядку, є контрольною для деякого класу систем, служить засобом або матеріалом для створення більш складної або досконалої системи і так далі, які і складають мети системи. У системному аналізі мета займає центральне місце, власне сам системний аналіз і починається з формулювання цілей.

Підсистема – частина системи, яка в свою чергу виступає як система нижчого порядку, призначення якої визначається функціями системи вищого порядку та ієрархії.

Для кількісної оцінки ефективності функціонування системи в

досягненні її цілей система в цілому і, кожна підсистема окремо, повинні мати формальні описатели і вимірювачі своєї діяльності, що включають вимірювач досягнення цілей всієї системи. У системному аналізі та ряді інших наук, пов'язаних з управлінням, *вимірювач або міру виконання цілей називають критерієм*. Саме критерій в основному і диктує поведінку системи. Таким чином, *функціонування системи має на меті критерії оцінки її виконання і стратегію її досягнення*.

Це визначення дає можливість починати розгляд системи з точки зору сенсу її існування – її функцій і цілей, воно містить ідею взаємозв'язку і внутрішнього розвитку системи. Ми, перш за все, задаємося не питанням про те, як організована і як функціонує система, а питанням – *для чого вона існує, яке її призначення*, тобто **мета**, присвячуючи подальше дослідження, в основному, вивченню того, як ця мета досягається, за рахунок яких ресурсів і як вона може бути реалізована. Виходячи з того, що визначальним в системі є мета її діяльності, ми цим самим допускаємо, що та ж сама мета в принципі може бути досягнута різними альтернативними шляхами.

Разом з ієрархією підсистем різного рівня виникає ієрархія відповідних цілей і критеріїв цих підсистем. Цілі і критерії підсистем повинні бути не тільки спрямовані на виконання головної мети в якості її складової частини, а й бути зв'язаними між собою в часі. Хорошим «механізмом реалізації» для такої ув'язки може служити побудова дерева цілей або ієрархічного графа, який встановлює значущості та підпорядкованості цілей.

Мета системи, у відповідності з її функцією основного призначення, визначає, спрямовує і регулює її дії. Разом з тим вона повинна знаходитися в обов'язковій згоді:

- з об'єктивними законами і вимогами (завданнями) системи більш високого порядку;
- з реальними можливостями оточуючого систему світу або середовища;
- з можливістю чисельного (формалізованого) опису (див. Розділ 1.8) і контролю виконання мети;

– з реальними можливостями і ресурсами самої системи.

Відповідність мети об'єктивним законам означає, перш за все, відповідність її цілям вищестоящої системи. Нерідко така відповідність при встановленні мети системи або навмисно, або помилково відсутня, що досить часто призводить до руйнування всієї системи. Наприклад, досвід будівництва розвинутого соціалістичного суспільства і подальший крах показав, що «... на першому місці завжди ставилися інтереси суспільства в цілому, тобто держави, а особистісні інтереси окремого члена суспільства розглядалися як другорядні, а іноді навіть ігнорувалися». Тому, при встановленні цілей всередині системи – в її підсистемах, важливо, щоб цілі всієї системи і хід їх досягнення були б узгоджені і відомі підсистемі будь-якого рівня.

Отже, мета визначає сенс існування системи, вона повинна відповідати цілям вищестоящої системи, об'єктивним можливостям зовнішнього середовища, внутрішнім можливостям самої системи.

Таким чином, основна якість, властива будь-якій системі - це її функції основного призначення (мети), відповідно система може бути однофункційною (мати одну мету) або багатфункціональною (багатоцільовою).

Для подальшого викладу як визначення мети системи виберемо наступне:

мета системи – це бажаний стан системи або результати її діяльності досяжні в межах деякого інтервалу часу (реальна мета).

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

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

Цілі мають бути конкретизовані за часом і виконавцями.

Серед безлічі цілей бажано спробувати знайти або сформулювати глобальну мету.

Цілі повинні забезпечувати можливість кількісної оцінки ступеня їх досягнення.

На вибір цілей вирішальний вплив справляє та система цінностей, якої ця мета дотримується, тому при формуванні цілей необхідним етапом робіт є виявлення системи цінностей, якої дотримується особа, яка приймає рішення.

Наприклад, розрізняють технократичну і гуманістичну системи цінностей. Згідно з першою системою, природа проголошується як джерело невичерпних ресурсів, людина – цар природи. Всім відома теза:

«Ми не можемо чекати милостей від природи. Взяти їх у неї наше завдання».

Гуманістична система цінностей говорить про те, що природні ресурси обмежені, що людина повинна жити в гармонії з природою.

Практика розвитку людського суспільства показує, що дотримання технократичної системи цінностей призводить до згубних наслідків. З іншого боку, повна відмова від технократичних цінностей теж не має виправдання. Не треба протиставляти ці системи, а розумно доповнювати їх і формулювати цілі розвитку системи з урахуванням обох систем цінностей.

1.2. Зовнішнє середовище і ресурси системи.

Зовнішнє середовище – це набір існуючих в просторі і в часі об'єктів (систем), які, як передбачається, діють на систему.

Зовнішнє середовище визначає всі умови і закони функціонування системи, всі аспекти її діяльності. Зовнішнє середовище накладає більшість обмежень на систему. Правила і закони функціонування системи визначаються зовнішніми доповненнями, які формує зовнішнє середовище кожній системі, контролює їх виконання.

Якщо розглядається процес виникнення проблеми, то під середовищем розуміють зовнішні умови, що викликали її. З точки зору формального визначення, під середовищем для системи розуміється все те, що створює умови її роботи.

Ніяку систему неможливо розглядати без її зв'язку із зовнішнім середовищем. Питання стоїть тільки в спрямованості цього зв'язку. Деякі автори вважають одним із принципів системного підходу

принцип, коли в якості об'єкта вивчення розглядаються тільки такі явища і процеси, перебіг яких не впливає на характер дії на них навколишнього середовища.

Для деяких процесів, і в першу чергу економічних, таке обмеження є неприйнятним. Так, якщо в ході промислового процесу буде виділятися надмірно багато шкідливих викидів в навколишнє середовище, відповідні органи нагляду будуть пред'являти фінансові санкції підприємству або змусять його здійснити будівництво досить дорогих очисних споруд, що, в свою чергу, буде враховано в істотному підвищенні собівартості продукції.

Або інший приклад. Розробка вугільних родовищ відкритим способом визначається, в першу чергу, виведенням з корисного оборту величезних площ землі. До недавнього часу, цьому не приділялося належної уваги, не враховувалася вартість землі при формуванні оплати за використання природних ресурсів. Діюча законодавча база змушує переглянути колишні проекти і передбачати суворе регулювання і рекультивацію використаних земель.

І, нарешті, третій приклад стосується інтенсивних процесів вилову риби в ряді морів і прибережних зон океанів, в результаті чого запаси риби різко зменшилися і вилов деяких порід риб припинився через її відсутність (наприклад, чорноморський лосось і **горбиль світлий** в Чорному і Азовському морях).

В описаних процесах вплив діяльності на середовище відбувається зі значним відставанням у часі, однак великі масштаби сучасної діяльності змушують дуже уважно ставитися до характеру зворотного впливу деяких процесів на середовище, особливо в галузі використання природних багатств. Це відноситься не тільки до флори і фауни, а й до запасів мінеральних ресурсів – вугілля, залізних і поліметалічних руд, водних та інших ресурсів.

***Ресурси системи** - це все те, що знаходиться в розпорядженні системи і те, на що управління системи може активно впливати в напрямку його найбільш ефективного використання в процесі її функціонування для досягнення мети.*

У найширшому сенсі до ресурсів відносять споживані системою

матеріальні, енергетичні та інформаційні компоненти. Безсумнівно, до ресурсів слід відносити і людські ресурси. Наприклад, для виробничого підприємства це будуть основні та оборотні фонди, людські ресурси, технологічні агрегати і все обладнання, зайняте у виробництві.

До ресурсів слід віднести також і науково-технічний або інженерно-технічний потенціал осіб, які беруть участь у функціонуванні системи. Наявність кваліфікованих інженерів і керівників багато в чому вирішує успіх справи. Наприклад, кваліфіковане конструкторське бюро заводу, ініціативні співробітники відділу головного механіка забезпечують своєчасну заміну застарілої продукції на більш досконалу, модернізацію обладнання та технології. Тут важлива не тільки кількісна, але і якісна сторона керівників та інженерно-технічних працівників. До ресурсів слід віднести також культурний і загальноосвітній рівень робочого колективу. Більш докладно про роль людських ресурсів в системному підході ми поговоримо трохи пізніше.

1.3. Поняття структури системи.

Поняття структури – одне з багатозначних понять. Воно, як і будь-яке інше поняття достатньої міри спільності, містить в собі різні смислові рівні, відповідні до деякої міри етапам його історичного розвитку в людському пізнанні. Неможливо навіть перерахувати всі значення поняття структури, в яких вони виступають у різних авторів. Ми ж будемо дотримуватися наступного визначення:

структура системи – сукупність елементів системи і зв'язків між ними у вигляді множини. Структура системи означає будову, розташування, порядок і відображає певні взаємозв'язки, взаємоположення складових частин системи, тобто її улаштування і не враховує безлічі властивостей (станів) її елементів.

Елемент – це складова частина складного цілого. У нашому випадку складне ціле – система, яка являє собою комплекс взаємопов'язаних елементів.

Елемент – неподільна частина системи, що володіє самостійністю по відношенню до даної системи. Неподільність

елемента розглядається як недоцільність обліку в межах моделі даної системи його внутрішньої будови. Сам елемент характеризується тільки його зовнішніми проявами у вигляді зв'язків і взаємозв'язків з іншими елементами.

Система може бути представлена простим перерахуванням елементів (рис.1), проте найчастіше при дослідженні об'єкта такого уявлення недостатньо, тобто потрібно з'ясувати, що являє собою об'єкт і що забезпечує виконання поставлених цілей.

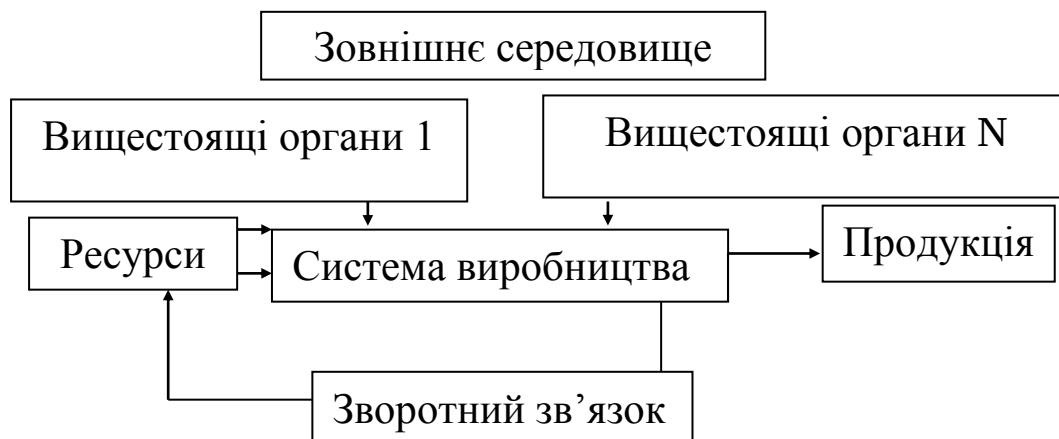


Рис.1. Структура системи

Один і той же об'єкт може бути представлений системами з різними структурами в залежності від стадії пізнання об'єктів, від аспектів розгляду, від цілей створення. З плином часу структура системи може змінюватися – системи з *постійної* і *змінної* структурами.

При системному описі організаційно-економічних, виробничих і технічних об'єктів розрізняються структури однорівневі і багаторівневі. Багаторівневі системи характеризуються, як правило, ієрархічною структурою; їм властива також *поліструктурність*, тобто взаємопереплетення різноякісних підсистем, що утворюють кілька пов'язаних між собою ієрархічних структур (виробничо-технологічних, територіальних, інституційних, соціальних та ін.).

Ієрархічна структура отримала найбільш широке поширення при проектуванні систем управління, чим вище рівень ієрархії, тим менше число зв'язків мають його елементи. Всі елементи крім

верхнього і нижнього рівнів мають як командні, так і підлеглі функції управління.

У вигляді ієрархічних структур представляються конструкції складних технічних виробів і комплексів, структури класифікаторів і словників, структури цілей і функцій, виробничі структури, організаційні структури підприємств.

У загальному випадку термін *ієрархія* ширше, він означає підпорядкованість, порядок підпорядкування нижчих за посадою і чину осіб вищим, виник як найменування "службової драбини" в релігії, широко застосовується для характеристики взаємин у апараті управління державою, армією і так далі, потім концепція ієрархії була поширена на будь-який узгоджений з підлеглості порядок об'єктів.

Таким чином, в ієрархічних структурах важливо лише виділення рівнів співпідпорядкованості, а між рівнями і компонентами в межах рівня можуть бути будь-які взаємини. Відповідно до цього існують структури, що використовують ієрархічний принцип, але мають специфічні особливості, і їх доцільно виділяти особливо.

Структура може мати матеріальну, функціональну, алгоритмічну та іншу основи. Приклад матеріальної структури, яка вказує на порядок їх з'єднання, – схема збірної моста, що складається з окремих, секцій, які збираються. Приклад функціональної структури - розподіл двигуна внутрішнього згоряння на системи живлення, змащення, охолодження, передачі крутного моменту. Приклад алгоритмічної структури – сукупність програмних засобів, яка вказує на послідовність дій, або інструкція, яка визначає ці дії, при знаходженні несправності технічного пристрою.

Для того, щоб на першому етапі пізнання уявити об'єкт як систему, необхідно так чи інакше розчленувати об'єкт, виявити, наприклад, його просторово обмежені частини або знайти інші форми розчленування об'єкта, а потім констатувати існування відносин цих частин в цілісній картині об'єкта, тобто здійснити *декомпозицію* системи. Таким чином, представляючи об'єкт як систему, ми даємо попередню картину складових частин об'єкта в їх взаємних

відносинах, тобто формуємо структуру системи. Визначення системи як деякої структури сукупностей відносин частин або елементів, сприяє більш певному формулюванню завдання дослідження з тим, щоб у подальшому можна було здійснити структурний аналіз системи. Іншими словами, *структурні уявлення систем можуть бути засобом їх дослідження*.

Система в своїй основі завжди структурна. ***Структура є моделлю системи***, а її формування – ***моделюванням*** і характеризує тільки будову системи, не враховуючи безлічі властивостей (станів) її елементів. Поняття *моделі та моделювання* в системному аналізі буде дано нами в розділі 2.2.

1.4. Стан і типи поведінки системи.

Кожен елемент системи характеризується конкретними властивостями (фізичними, хімічними, економічними і т. Д.), Які визначають його в даній системі однозначно. Сукупність усіх властивостей елемента будемо називати ***станом елемента***, а сукупність станів елементів і зв'язків між ними в конкретний момент часу – ***станом системи***.

Стан елемента, а, отже, і системи в цілому в залежності від різних факторів (часу, простору, зовнішнього середовища і так далі) може змінюватися. Послідовні зміни стану елемента (системи) з плином часу будемо називати ***рухом елемента (системи)***.

Розглядаючи різні режими руху системи, ми можемо розрізнити три різні типи поведінки систем: рівноважний, перехідний і періодичне.

Стан системи називається ***рівноважним (стаціонарним)***, якщо жодна з істотних її змінних не змінюється в розглянутому інтервалі часу. Розрізняють ***статичну і динамічну*** рівновагу. ***Статична*** рівновага – це рівновага спокою. У статичній рівновазі система за відсутності зовнішніх впливів, що обурюють, або при постійних впливах, зберігає свій стан у всьому часовому інтервалі спостереження. Рівноважний стан системи в русі – ***динамічна*** рівновага означає, що перетворення її змінних є тотожними, тобто не породжують нових образів.

Перехідним (нестационарним) називається такий тип поведінки системи, коли вона знаходиться в процесі переходу з деякого початкового стану в будь-який усталений стан.

Якщо система через рівні інтервали часу повертається в один і той же стан, то даний режим поведінки називається **періодичним**.

Рівноважний режим поведінки системи тісно пов'язаний з поняттям стійкості системи.

Стійкість – це здатність системи повертатися в стан рівноваги після того, як вона була з цього стану виведена під впливом зовнішніх або внутрішніх впливів, що обурюють. Ця здатність властива системам, коли відхилення не перевищує деякої встановленої межі – **порогу стійкості**.

Поняття стійкості – одна з найважливіших характеристик поведінки системи. Під стійкістю розуміється сталість стану системи або сталість послідовностей деяких її станів у часі в процесі її перетворень.

Поняття стійкості в живих організмах пов'язують з явищем **гомеостазиса**. Гомеостазисом називається здатність живих організмів забезпечувати оптимальний режим внутрішнього середовища шляхом підтримування сталості істотних параметрів системи (температури, складу клітинної рідини і так далі). Забезпечення сталості істотних параметрів системи досягається за рахунок інформаційних процесів управління із зворотними зв'язками, завдяки чому усуваються наслідки обурюючих випадкових впливів середовища на окремі підсистеми і елементи живого організму.

Принцип гомеостазиса часто використовується при конструюванні різних технічних систем, які називають гомеостатичними.

Поняття стійкості в строгому сенсі відноситься не до самої системи, а до якоїсь властивості її поведінки, причому поведінки системи в цілому, а не якої-небудь її частини. При об'єднанні ряду систем з нестійкою поведінкою нова система може виявитися стійкою. У той же час, при агрегуванні декількох стійких систем не обов'язково вийде система з стійкою поведінкою.

Слід зауважити, що система, стійка за деякою властивістю поведінки, за іншою ознакою може бути нестійкою. Так, наприклад, стійкість врожайності зовсім не означає, що виявиться стійкою також зміна собівартості продукції.

В конкретних дослідженнях безсумнівний інтерес представляє зміна стійкості поведінки господарських (економічних) систем по відношенню до збурень різного характеру, про що ми поговоримо трохи пізніше.

1.5. Зворотній зв'язок системи.

Поняття «зв'язок» входить в будь-яке визначення системи і забезпечує виникнення і збереження цілісності її властивостей. Це поняття одночасно характеризує і будову (статика), і функціонування (динаміку) системи. Однак, досить важко дати визначення цьому майже очевидному поняттю – існують десятки визначень. Ми скористаємося найпростішим визначенням, яке звучить так:

***зв'язок** – сукупність залежностей властивостей одного елемента від властивостей інших елементів системи.* Встановити зв'язок між двома елементами – це значить виявити наявність залежностей їх властивостей. Будь-який закон природи і суспільства – це є внутрішній, стійкий, істотний зв'язок і взаємна обумовленість явищ. Немає закону поза зв'язком!

Залежність властивостей елементів може мати односторонній і двосторонній характер. Двостороння залежність властивостей одного елемента від властивостей інших елементів системи називається *взаємозв'язком*. Сукупність взаємозв'язків і взаємовідносин між властивостями елементів, коли вони набувають характеру взаємосприяння один одному, називається взаємодією.

Зв'язками першого порядку називаються зв'язки, функціонально необхідні один одному. Додаткові зв'язки називаються ***зв'язками другого порядку***. Якщо вони присутні, то в значній мірі покращують дію системи (прояв ефекту синергії), але не є функціонально необхідними. Зайві або суперечливі зв'язки називаються зв'язками ***третього порядку***. Іноді зв'язок визначають як обмеження свободи елементів. Дійсно, елементи, вступаючи в зв'язок один з одним,

втрачають частину своїх властивостей, які вони потенційно мали у вільному стані.

У навколишньому світі існує велика кількість різних зв'язків - багатовимірних, багатогранних, багатозначних, багатопланових, які ми повинні вчитися пізнавати. У загальній теорії систем особливу увагу звертають на такі три види зв'язків.

Рекурсивний зв'язок – необхідний зв'язок між об'єктами, при якому ясно, де причина і де наслідок. Наприклад, витрати в економіці завжди виступають в якості причини, а їх результати – як сліdstва. Між витратами і результатами існує рекурсивний зв'язок.

Синергетичний зв'язок – визначається як зв'язок, який при спільних діях незалежних елементів системи забезпечує збільшення їх загального ефекту до значення, більшого, ніж сума ефектів цих елементів, що діють незалежно. Отже, це підсилює зв'язок елементів системи. Саме з синергетичних зв'язків випливають інтегральні (емерджентні) властивості, тобто властивості цілісної системи, які не притаманні елементам, що її складають, і розглядаються поза системою.

Циклічний (зворотний) зв'язок – це процес, що приводить до того, що результат функціонування будь-якої системи впливає на параметри, від яких залежить функціонування цієї системи. Єдине призначення підсистем зворотного зв'язку – зміна триваючого процесу. У зв'язку з чим зворотний зв'язок є основою об'єкта управління, саморегулювання і розвитку систем, пристосування їх до мінливих умов існування.

Для опису принципу дії зворотного зв'язку обмежимося розглядом взаємодії системи лише з зовнішнім середовищем (Рис.2).

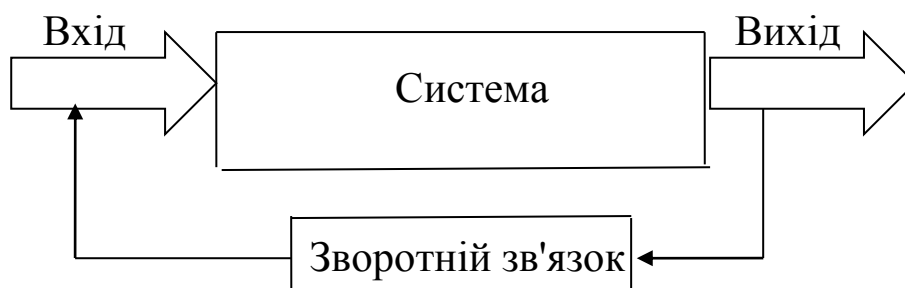


Рис. 2. Схема циклічного зв'язку

Входи системи – це різні точки прикладання впливу (дії) зовнішнього середовища на систему. Входами системи можуть бути інформація, речовина, енергія і так далі, які підлягають перетворенню. Узагальненим входом (X) називають деякий (будь-який) стан всіх r що входять параметрів $x_1, x_2, \dots, x_r$ системи, яке можна представити у вигляді вектора $X = (x_1, x_2, \dots, x_r)$.

Виходи системи – це різні точки прикладання впливу (дії) системи на зовнішнє середовище. Вихід системи (Y) являє собою результат перетворення системою інформації, речовини і енергії.

У цьому випадку поведінку системи можна описати законом (функцією) F , що відображає зміни X на вході і Y на виході системи: $Y = F(X)$. Це визначає також і стан системи в певний момент часу. Для визначення функції F найчастіше застосовуються методи експертних оцінок, математичного, імітаційного і стохастичного моделювання. Детальний аналіз цих методів проводиться в рамках дисципліни «Дослідження операцій і методи оптимізації».

Тепер з урахуванням зробленої вище примітки, ми можемо, в загальному випадку, розглянути як організований зворотний зв'язок з управління системою. Всі способи управління системою можна розділити на два альтернативних класи.

- Управління, покликане забезпечити *стійкість системи в даному стані*. Нехай система відхилилася від свого поточного стану в результаті якого-небудь випадкового впливу, наприклад, з боку зовнішнього середовища. Про це ми можемо судити по *зміні* значень ряду вихідних параметрів. У цьому випадку зворотний зв'язок повинен змінити вхідний сигнал таким чином, щоб протидіяти зміні вихідного сигналу і повернути систему в початковий стан з початковими вихідними параметрами. Такий зворотній зв'язок отримав назву **негативного зворотного зв'язку**.

- Управління, покликане забезпечити *переведення системи з одного стану в інший*. Це досягається за рахунок **позитивного зворотного зв'язку**, який шляхом керованого впливу на вхідні

параметри переводить систему в бажаний стан з заданими вихідними параметрами.

По суті, *позитивний і негативний* зворотний зв'язок утворюють тим самим *контур управління системою*, що має замкнутий вид (Рис. 2) за рахунок появи можливості дозування керуючих впливів на вхідні параметри системи і аналізу їх результатів по вихідним параметрам.

При розробці моделей функціонування складних систем, що саморегулюються та самоорганізуються, в них, як правило, одночасно присутні і негативні, і позитивні зворотні зв'язки. Так, наприклад, виробництво і потреби людей утворюють складний зворотний зв'язок, при якому необхідність задоволення потреби людей рухає виробництво, а останнім створює основу для розширення спектра потреб, що задовольняються.

Прикладом складної саморегульованої, само організованої системи є також будь-який живий організм, в якому зворотний зв'язок забезпечує йому стійкий розвиток його організму навіть при несприятливих взаємодіях із зовнішнім середовищем. Більш докладно системи з управлінням будуть розглянуті нами в окремому розділі трохи пізніше.

1.6. Класифікація систем.

Системи поділяються на класи за різними ознаками, і в залежності від розв'язуваної задачі можна вибирати різні ознаки класифікації:

1) за специфікою складових елементів системи (тобто по їх природі) розрізняють системи **матеріальні та абстрактні**. Матеріальні системи є об'єктами реального оточуючого нас світу. Серед усього розмаїття матеріальних систем існують **природні**, що виникли незалежно від людини (наприклад, Сонячна система), і **штучні**, тобто створені людиною (наприклад, система товарообігу). Абстрактні системи – це уможлядне уявлення образів або моделей матеріальних систем, які поділяються на **описові** (логічні) і **символічні** (математичні). В управлінні сучасним складним

виробництвом абстрактні системи відіграють не меншу роль, ніж матеріальні.

2) за видом відображуваного об'єкта: технічні; біологічні; економічні і так далі;

3) за характером взаємодії з середовищем розрізняють **відкриті і замкнуті** системи. У відкритій системі відбувається безперервний обмін із зовнішнім середовищем енергією, речовиною, інформацією. Відкрита система безперервно взаємодіє із середовищем. Всі біологічні, технічні, економічні системи є відкритими системами. У замкнутій системі її елементи взаємодіють тільки між собою і не пов'язані з зовнішнім середовищем, тобто системи, що не обмінюються з навколишнім середовищем речовинами, енергією, інформацією. Будь-які реальні системи піддаються взаємодії середовища і самі впливають на неї, тобто є відкритими.

4) за характером причинної обумовленості подій в процесі взаємодії елементів, зокрема, за характером залежності вихідних реакцій системи від вхідних імпульсів, розрізняють **детерміновані і стохастичні** (ймовірнісні) системи. Знаючи характер вхідних імпульсів можна точно передбачити, якою буде очікувана реакція на виході, такі системи називають **детермінованими**. Зв'язки в таких системах носять жорсткий, функціональний характер і їх поведінку можна абсолютно точно передбачити. Наприклад, знаючи закони руху планет сонячної системи можна точно передбачити сонячні і місячні затемнення і т.ін. **Ймовірносними (стохастичними)** називають такі системи, послідовність подій в яких строго не детермінована і носить імовірнісний характер. Тобто система відчуває впливи, які носять неконтрольований, випадковий характер. Наприклад, навіть в досить чистих експериментах з добривами, вносячи однакові дози речовини, ми отримаємо різні результати на різних ділянках, хоча умови були максимально вирівняні. Стохастичними системами є також системи, в яких присутній людський фактор - заводи, аеропорти, магазини, підприємства побутового обслуговування і так далі.

5) за характером руху системи, тобто зміни її станів з плином часу. У деяких системах перехід з одного стану в інший здійснюється миттєвими стрибками, а потім система відносно довго залишається в даному стані. Такі системи називають **статичними**. В реальних умовах система не може залишатися в статистичному стані нескінченно довго. Всі реальні системи змінюються в часі. Коли говорять про статичні системи, мають на увазі, що змінні системи залишаються незмінними протягом часу даного дослідження. Системи називають **динамічними**, якщо перехід з одного стану в інший відбувається не миттєвими стрибками, а протягом деякого часу, тобто процеси переходу можна спостерігати і описати. Динамічні системи характеризуються тим, що їх вихідні сигнали в даний момент часу визначаються характером вхідних впливів в минулому і сьогоденні (залежить від передісторії). В іншому випадку системи є статичними. Прикладом динамічних систем є біологічні, економічні, соціальні системи; такі штучні системи як підприємство, конвеєр і т. д.

б) за ступенем складності системи прийнято ділити на прості, складні і дуже складні.

Простими називаються системи, що складаються з невеликої кількості елементів, з простими взаємозв'язками, нерозгалуженою внутрішньою структурою, метою якої є виконання елементарних функцій. Прикладами таких систем є чергування культур в сівозміні і т. ін.

Система називається **складною**, якщо число елементів в ній значне, але ще оглядається і піддається обчисленню, структура взаємозв'язків і взаємодій має розгалужений характер, їх функції різноманітні. Прикладом складної системи може служити сільськогосподарське підприємство.

Дуже складною системою прийнято називати системи, сутність взаємозв'язків в яких недостатньо вивчена і не цілком зрозуміла. Прикладами таких систем є всесвіт, суспільство, економіка, мозок.

Найбільший інтерес з точки зору управління представляють закономірності поведінки складних і дуже складних динамічних систем, що знаходяться в русі.

Класифікації завжди відносні. Так, в детермінованій системі можна знайти елементи стохастичності, і, навпаки, детерміновану систему можна вважати окремим випадком стохастичної (при ймовірності, рівній одиниці). Аналогічно, якщо взяти до уваги діалектику суб'єктивного і об'єктивного в системі, то стане зрозумілою відносність поділу системи на абстрактні і об'єктивно існуючі: це можуть бути стадії розвитку однієї і тієї ж системи. У зв'язку з цим в літературі існують і інші класифікації систем. Наприклад: розрізняють системи **лінійні і нелінійні**. Для лінійних систем реакція на суму двох або більше різних впливів еквівалентна сумі реакцій на кожне обурення окремо. Для нелінійних - ця умова не виконується; якщо вхід і вихід системи вимірюється або змінюється в часі дискретно, через крок Δt , то система називається дискретною. Протилежним поняттям є поняття безперервної системи. Так ЕОМ, електронний годинник, електролічильник - дискретні системи, а пісочний годинник, сонячний годинник, нагрівальні прилади і т. ін. — безперервні системи.

1.7. Концептуальні питання теорії систем.

Сформулюємо три основних концептуальних питання теорії систем.

Першим концептуальним питанням є внутрішня мінливість системи, яка обумовлюється як мінливістю цілей досліджень, так і розвитком системи в часі. Одна і та ж система в залежності від цілей досліджень може мати різну внутрішню структуру, причому структура може змінюватися в часі. Таким чином, система не є чимось один раз назавжди даним. У відповідності зі своїми внутрішніми можливостями, вимогами, умовами вищестоящої системи і середовища в неї можуть вноситися зміни. Важливо, щоб ці зміни покращували ефективність діяльності по досягненню цілей, встановлених для даної системи.

Другим концептуальним питанням є питання про те, хто

визначає цілі досліджень, способи опису її функціонування і критерії оцінки діяльності системи. В принципі, як це і впливає з нашого визначення, вони встановлюються вищестоящою системою через цілі і стратегію досліджуваної системи.

Третім концептуальним питанням є питання про те, хто повинен передбачати внесення відповідних змін до характеру діяльності і структуру системи, хто і яким чином коригує цілі системи, визначає критерії, розробляє і реалізує стратегію на виділений (або заданий) часовий інтервал.

Теорія систем застосовується при дослідженні та вивченні широкого кола наукових, соціальних, технічних, економічних та інших проблем, в тому числі при формулюванні самої проблеми досліджень в умовах інформаційної невизначеності. Під проблемами тут розуміються завдання, вирішення яких назріло в суспільстві. Теоретичний і пізнавальний підходи в дослідженні систем сприяють чіткому визначенню основних класів систем, методів аналізу, моделей і алгоритмів, до яких доцільно застосувати методологію теорії систем, і дають основу для вироблення єдиних принципів формалізації найрізноманітніших об'єктів і явищ.

Як практично перевірити, чи є дана система системною? Користуючись методом контрольних запитань, можна запропонувати наступну послідовність питань, відповіді на які допоможуть нам практично розібратися з нашої «системою»:

1. Чи є набір елементів системи повним, тобто достатнім для функціонування системи? Чи немає зайвих або відсутніх елементів?

2. Які зв'язки між елементами? Чи достатньо їх, чи немає зайвих? Чи забезпечують зв'язки функціонування системи?

3. Чи має система якості (функціональні властивості), які не є притаманними жодному з її елементів окремо?

4. Чи забезпечений взаємозв'язок даної системи із зовнішнім середовищем? Чи враховані всі суттєві зовнішні зв'язки? Обмеження?

5. Що дасть аналіз даної системи з позиції підсистеми, тобто зверху? Чи не порушуються властиві підсистемі закони розвитку?

6. Що дасть аналіз даної системи з позиції можливих результатів (кінцевих результатів), тобто погляд знизу?

7. Чи має дана система як частина матерії усі притаманні їй властивості (матеріальність, об'єктивність, перетворення матерії з одного виду в інший і т.ін.)?

8. Чи збережені, чи не порушені в системі закони матеріалістичної діалектики? Чи може система розвиватися, які рушійні сили розвитку?

Різноманіття і принципові відмінності об'єктів, процесів, проблем, які підлягають розгляду з позиції теорії систем, зумовили різноманіття інструментальної бази і сформулювали вимоги для їх застосування при дослідженні різних економічних, організаційних, технічних та ін. процесів і явищ, що отримали назву *системного аналізу*, мова про який піде трохи пізніше.

1.8. Способи подання і опису систем.

Очевидно, твердження – щоб ефективно управляти, потрібно знати, чим керуєш. У теорії систем уявлення про керований об'єкт має дати його *системний опис*, який є першим кроком в процесі формування управлінських рішень.

1.8.1. Принципи опису систем.

Практична спрямованість системних досліджень визначає всю специфіку концепцій, підходів і методів і може бути представлена у вигляді фундаментального принципу системного аналізу - ***принципу мети***. Цей принцип стверджує, що будь-який складний об'єкт повинен розглядатися тільки з точки зору вирішення певної задачі, що стоїть перед дослідником або особою, яка приймає рішення. Це означає, що *опис системи має бути цілеспрямованим*. Мета визначає спосіб і форму опису об'єкта. Метою аналізу диктується вибір рівня узагальнення, на якому будується опис системи. Цей рівень фіксується вибором елементів системи, цілісні властивості яких складають кордон подробиці опису системи. Як уже підкреслювалося, декомпозиція системи хоча і має цільовий характер, але визначається не свавіллям дослідника, а відбиває реальну структуру об'єкту в зручній для нього формі.

Властивості цілісності, ієрархічності і нескінченності системи дозволили сформулювати один з основних принципів теорії систем – **принцип багаторівневого опису**, число рівнів опису визначається цілями і необхідною для їх досягнення глибиною аналізу. В узагальненому сенсі він говорить, що будь-який об'єкт повинен бути описаний:

- як елемент системи вищого порядку або рівня;
- як цілісна структура, яка припускає представлення у вигляді пов'язаного набору параметрів;
- як деяка складна структура, внутрішня будову якої необхідно представити з подробицею, достатньою для досягнення цілей дослідження.

Таким чином, мінімально необхідне число рівнів опису системи - три. Насправді при дослідженні, наприклад, соціально-економічних і економічних систем зазвичай вводять значно більше число рівнів опису.

З поняттям *опису системи* пов'язано поняття *мов опису системи*. Мови опису повинні певним чином співвідноситися одна з одною, утворюючи ієрархію описів. Ієрархічна система мов, що описує систему або об'єкт, повинна бути побудована за принципом *інформаційної єдності*, суть якої полягає в тому, що кожне поняття, кожен процес в ієрархії опису є результат узагальнення понять нижчого рівня опису.

У світлі викладених принципів опис системи на кожному ієрархічному рівні має бути відповідним чином структурованим і, в загальному випадку, відображати:

- цілі і завдання дослідження;
- чисельні критерії оцінки повноти і якості виконання цільової функції (див. Розділ 2.2);
- місце досліджуваної системи в системі більш високого порядку, міру або ступінь залежності від зовнішнього середовища, форму і механізм реалізації цієї залежності;
- функції системи в досягненні мети системою більш високого порядку;

- основні показники функціонування системи;
- структуру системи і функціональне призначення елементів;
- зміст інформаційних зв'язків;
- структуру управління і організацію цілеспрямованої поведінки системи;
- цілі системи, декомпозицію цілей в завдання;
- гіпотезу про механізм функціонування системи;
- аналіз функціонування та прогнозування розвитку системи на основі виявлених цілей і завдань системи і механізму її функціонування.

Перераховані аспекти повинні міститися в кожному рівні опису системи. Однак у багатьох випадках принцип *інформаційної єдності* не витримується. Наприклад, як показує досвід *змістовного* дослідження різних проблем функціонування і розвитку системи, в більшості робіт, присвячених цій проблематиці, подібна структуризація і суворе орієнтування на цілі дослідження не дотримуються. Зазвичай виклад ведеться в довільній формі, рівні узагальнення не фіксуються, механізм функціонування досліджуваного об'єкта в явному вигляді не описується. Ця обставина надзвичайно ускладнює перехід до наступного рівня опису *формальним* методам системного дослідження і побудови математичних моделей системи. У більшості випадків доводиться заново розробляти структурований, багаторівневий системний опис об'єктів під кутом зору досліджуваних питань, оскільки формалізація ґрунтується на змістовному описі і повністю залежить від його якості. Це надзвичайно важливий і відповідальний етап системного дослідження, покликаний узагальнити і систематизувати емпіричні та теоретичні знання про об'єкт з позицій цілей аналізу, виробити основну гіпотезу про механізм його функціонування і побудувати змістовну модель системи, яка і складає основу її формально-теоретичного уявлення.

1.8.2. Формалізація систем.

Перехід від *змістовного (вербального)* опису системи до *формального* опису представляє складну проблему, як в

теоретичному, так і в прикладному плані. Витоки цієї проблеми лежать у відмінності природної мови, використовуваної для змістовного (вербального) опису системи і формальних мов, які мають свою специфіку для різних систем: економічних, технічних, соціальних, екологічних та ін. Будь-яка формалізація нерозривно пов'язана з побудовою штучних, або формалізованих, наукових мов. Такі мови створюються для точного вираження думок з метою виключити можливість неоднозначного розуміння. Формалізація дає можливість будувати наукові мови з точно встановленою структурою і заданими правилами перетворення одних виразів в інші.

Природна мова надзвичайно багата смисловими відтінками і має велику гнучкість у відображенні дійсності. Причинно-наслідкові зв'язки самої різної природи в системі легко інтерпретуються засобами природної мови. Однак її поняття зафіксовані неявно і неоднозначно. Наприклад, закономірності та зв'язки при описі системи даються в загальному, неконкретному, якісному вигляді, що допускає різні трактування. Механізм висновків заснований на інтуїтивній логіці спілкувань і умовиводів. Як засіб вираження думок природна мова має незліченне розмаїття форм і широко використовує навмисну неоднозначність сенсу і майже завжди містить підтекст, який явно не фіксується. Саме тому природна мова може передавати найтонші відтінки людських думок, почуттів і настроїв, і є ідеальним засобом спілкування.

Разом з тим кількісний аналіз явищ і процесів дійсності має свої закони, які суперечать властивостям природної мови, і вимагає особливого формалізованого підходу до опису системи. Формалізований підхід вимагає, перш за все, однозначності понять, суворої логіки і висновків, фіксації сенсу перетворень, що відбивають розглянуті закономірності. Формальна мова бідна у порівнянні з природною мовою. Вона завжди спрощено відображає дійсність. Багатство смислових відтінків, понять, інтуїтивно-логічних прийомів в принципі не піддається формалізації. Тому в контексті системного дослідження формалізація повинна бути пов'язана зі змістовною

інтерпретацією кількісних результатів, їх осмисленням і доповненням неформалізованими аспектами.

Формалізація - це етап системного дослідження, на якому сформульована в змістовному описі основна гіпотеза про механізм досліджуваного процесу функціонування системи і його закономірності набуває суворо логічну і кількісну форму причинно-наслідкових відносин.

Першим етапом формалізації є побудова (синтез) *формальної схеми структури системи*, що містить знаковий опис системи та процесу її функціонування. Другий етап - побудова *моделей системи*.

У формальній схемі явно фіксуються зв'язки між елементами, параметри опису і функціонування елементів системи і системи в цілому і просторово-часові залежності. Основні перетворення в цій схемі зазвичай представляються деякими операторами відображення, внутрішній механізм яких на першому етапі формалізації може і не розглядатися. Формальна схема в силу своєї спільності дозволяє змістовно інтерпретувати в своїх термінах всі можливі явища, які відбуваються в системі, що вивчається.

Формальна схема має подвійне призначення:

- на її основі можна розвивати як змістовну, так і формальну теорію досліджуваного процесу;
- вона служить основою для побудови системи моделей.

Логіка відносин формальної схеми дозволяє проводити змістовний аналіз строго і цілеспрямовано і робить його висновки і рекомендації більш доказовими і однозначними.

Синтез формальної схеми - це не що інше, як процес пізнання системи, що представляє певний етап в загальному системному дослідженні, і він нерозривно пов'язаний і визначається структурою системи. Він може починатися, наприклад, з того, що в графічній формі представляється декомпозиція системи, дана в змістовному описі, викреслюються зв'язки між елементами і фіксується їх зміст, тобто формується структура системи. Це графічне відображення ілюструє змістовну схему функціонування системи, закріплюючи послідовність дій її елементів і зв'язки з більш широкою системою.

Подібна графічна схема будується для кожної підсистеми і далі для всіх елементів, тобто деталізується з точністю до елемента, внутрішня будова якого на обраному рівні аналізу нам байдужа. Іншими словами, вже на цьому етапі вводиться ієрархія описів системи, відповідно до якої будуть обрані мови опису системи. Крім того, тут ми вибираємо і фіксуємо структуру системи як основу формального опису.

Наступним етапом побудови формальної схеми є переклад змістовного опису зв'язків елементів всередині системи і зовнішніх зв'язків системи в конкретні параметри системи і її елементів. Ці параметри повинні мати ясний зміст, однозначно відображати ту чи іншу характеристику стану системи і її елементів, зв'язки, фактори і умови, що мають місце в системі. Вибір параметрів опису системи і її елементів - складний творчий процес, багато в чому визначається мистецтвом і знаннями дослідника.

Вибір зазвичай проводиться зверху, спочатку для загальної графічної схеми, потім для схем підсистем і елементів. При виборі параметрів системи необхідно орієнтуватися на наявну інформацію, чітко уявляти методи отримання кожного з них і їх зв'язки з параметрами більш низького рівня опису системи.

Вибір параметрів на кожному рівні опису системи - це і є складання формальних мов опису системи, в термінах яких в подальшому і буде описуватися її динаміка.

Правильному вибору параметрів системи допомагає послідовне застосування принципу класифікації, який стверджує, що для побудови формальної схеми і формальної моделі досліджуваного процесу необхідно відповідно до цілей дослідження класифікувати стан системи і її елементів, обов'язково з урахуванням обраних рівнів узагальнення. Далі для кожного класу станів системи провести класифікацію значень параметрів, що обираються.

Іншими словами, для подальшого розгляду потрібно *вибрати тільки ті стани досліджуваної системи, які відповідають цілям нашого дослідження, і кожному з них зіставити ті чи інші значення параметрів опису цього стану.*

Параметри стану системи і її елементів можуть бути як кількісними, виражатися числами, але й допускати змістовний опис, що дозволяє його переклад в кількісні шкали і показники.

Остаточний етап побудови формальної схеми - це відображення схеми функціонування системи в термінах обраних мов, тобто параметрів різного рівня опису системи.

Формальна схема може мати таблично-графічну або математичну форму. В останньому випадку таблично-графічна форма може ілюструвати положення її математичного аналога. Таблично-графічне представлення формальної схеми є зручним при аналізі об'єктів, що погано формалізуються, наприклад, таких, як соціальні процеси в системах.

Для дослідження матеріальних процесів в системі можна будувати математичну формальну схему, і, при необхідності доповнювати її графічними ілюстраціями. Природно, що будь-яку формальну схему необхідно супроводжувати спеціальним описом, який пояснює сенс всіх виконаних перетворень.

Розробкою формальної схеми завершується системне уявлення об'єкта дослідження.

ТЕМА 2. ОСНОВИ СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ

Системний аналіз як дисципліна сформувався в результаті виникнення необхідності досліджувати і проектувати складні системи, управляти ними в умовах неповноти інформації, обмеженості ресурсів і дефіциту часу. В силу принципових міркувань поняття і аксіоматика, яка використовується в системному аналізі, спирається на аксіоматику теорії управління, теорії інформації, теорії вибору і прийняття управлінських рішень. Широке поширення ідей і методів системного аналізу, а головне – успішне їх застосування на практиці стало можливим тільки з впровадженням і повсюдним використанням ЕОМ. Саме застосування ЕОМ як інструменту вирішення складних завдань дозволило перейти від побудови

теоретичних моделей систем до широкого їх практичного застосування.

Сьогодні, системний аналіз – це розділ теорії систем, методологія якого полягає в системному підході і в дослідженні будь-яких об'єктів за допомогою представлення їх як систем, їх аналізу і синтезу, виявлення загальних властивостей і закономірностей для формалізації цих систем.

2.1. Поняття і основні принципи системного підходу.

Вивчення об'єктів як систем викликало формування нової наукової методології - *системного підходу*, що використовується в різних областях науки і діяльності людини. Призначення цієї науки полягає в пошуку структурної подібності законів, установлених в різних дисциплінах, виходячи з яких, можна вивести загальносистемні закономірності. Наприклад, в соціології можна виділити два основних системних підходи до дослідження суспільства. Це *структурно-функціональний аналіз*, який досліджує особливості розвиненого суспільства, визначальну роль способу виробництва по відношенню до інших сторін суспільного життя, протиріччя між матеріальними і духовними явищами життя, специфічні особливості та складність вираження економічних відносин через взаємодію політичних, правових, сімейних, емоційних і інших відносин, що існують в суспільстві. Інший підхід до дослідження соціальних явищ – це *генетичний аналіз*. Його завдання – розуміння суспільства як цілого, що розвивається, та виділення якісних особливостей кожного ступеня його розвитку. В кінцевому рахунку, ці два способи дослідження взаємно доповнюють один одного, дозволяючи зрозуміти суспільство як єдине ціле.

В даний час багато робіт присвячено системним дослідженням. Всі вони розглядають рішення системних завдань, в яких об'єкт досліджень представляється у вигляді системи.

Системні завдання можуть бути двох типів: *системного аналізу і системного синтезу*.

Завдання аналізу - визначення властивостей системи за відомою структурою, вивчення властивостей вже існуючого утворення, тобто аналіз передбачає процес поділу цілого на частини.

Завдання синтезу - визначення структури системи за її властивостями, тобто створення нової структури, яка повинна мати бажані властивості – побудова цілого з частин.

По суті справи, в системному аналізі ці два протилежні підходи – методи аналізу і синтезу взаємно переплітаються, при здійсненні аналітичної процедури постійно звертається увага на способи об'єднання, синтезу окремих результатів в єдине ціле і вплив, аналіз кожного з елементів на інші елементи системи і системи в цілому .

Розглянемо основні принципи системного підходу.

Перший принцип - це вимога розглядати сукупність елементів системи як одне ціле.

Другий принцип- це визнання того, що властивості системи це не просто сума властивостей її елементів. Тим самим постулюється можливість того, що система має особливі властивості, яких може і не бути у окремих елементів.

Третій принцип системного підходу визначає ієрархічність пізнання, що вимагає багаторівневе вивчення предмета: вивчення самого предмета – «власний» рівень; вивчення цього ж предмета як елемента більш широкої системи - «вищестоящий» рівень і, нарешті, вивчення цього предмета в співвідношенні зі складаючими даний предмет елементами – «нижчий» рівень.

Цей принцип системного підходу вимагає вивчення інтеграційних властивостей і закономірностей систем і комплексів систем, розкриття базисних механізмів інтеграції цілого.

Четвертим принципом системного підходу є його націленість на отримання кількісних характеристик, створення методів, які звужують неоднозначність понять, визначень, оцінок.

П'ятим принципом є націленість системного підходу на ефективність системи управління. Теоретично доведено, що завжди існує функція цінності системи - у вигляді залежності її ефективності (майже завжди це економічний показник) від умов побудови і функціонування.

Іншими словами, системний підхід вимагає розглядати проблему не ізольовано, а в єдності зв'язків з навколишнім середовищем, досягати сутності кожного зв'язку та окремого елемента, проводити асоціації між загальними та приватними цілями. Все це формує особливий спосіб мислення, що дозволяє гнучко реагувати на зміни обстановки і приймати обґрунтовані рішення.

З урахуванням сказаного визначимо поняття системного підходу.

Системний підхід - це підхід до дослідження об'єкта як до системи, в якій виділені елементи, внутрішні і зовнішні зв'язки, найбільш істотним чином впливаючі на досліджувані результати його функціонування, а цілі кожного з елементів визначені виходячи із загального призначення об'єкту.

На практиці для реалізації системного підходу необхідно передбачити виконання наступної послідовності дій:

- формулювання завдання дослідження, з якого має бути зрозуміло, що потрібно робити і на підставі чого це робити;

- виділення об'єкта дослідження, як системи, з навколишнього середовища. Особливістю виділення об'єкта, як системи, з навколишнього середовища є те, що необхідно вибрати такі його елементи, діяльність або властивості яких проявляються в області дослідження даного об'єкта;

- встановлення внутрішньої структури системи і виявлення зовнішніх і внутрішніх зв'язків. Необхідність виявлення (або створення) того чи іншого зв'язку визначається ступенем його впливу на досліджувані характеристики: повинні залишатися ті, які мають істотний вплив. У тих випадках, коли зв'язки незрозумілі, необхідно укрупнити структуру системи до відомих рівнів і проводити дослідження з метою подальшого поглиблення деталізації до необхідного рівня. Не повинні вводитися в структуру системи елементи, що не мають зв'язків з іншими. Зі сказаного випливає висновок: встановлення внутрішньої структури не є операцією тільки початкового етапу дослідження, вона буде уточнюватися, і змінюватися в міру проведення досліджень. Цей процес відрізняє складні системи від простих систем,

- визначення (або постановка) цілей перед елементами виходячи з очікуваного (або того, що проявиться) результату і всієї системи в цілому. У будь-якій системі кожен елемент її структури функціонує виходячи з деякої своєї мети. При її виявленні (або постановці) слід керуватися вимогою підпорядкованості спільної мети системи. Тут слід зазначити, що приватні цілі елементів не завжди узгоджуються з кінцевою метою самої системи;

- розробку моделі системи і проведення на ній досліджень. Складні системи, як правило, досліджуються на моделях. Метою моделювання є визначення реакцій системи на дії, межі функціонування системи, ефективність алгоритмів управління. Модель повинна допускати можливість варіацій зміни кількості елементів і зв'язків між ними з метою дослідження різних варіантів побудови системи. Процес дослідження складних систем носить

ітеративний характер, і число можливих наближень залежить від апріорних знань про систему і жорсткості вимог до точності одержуваних результатів. Таким чином, системний підхід передбачає проводити дослідження не на реальній системі-об'єкті, а на системі-моделі.

Модель (в науці) - це об'єкт-заступник об'єкта-оригіналу, інструмент для пізнання, який дослідник ставить між собою і об'єктом-оригіналом і за допомогою якого вивчає деякі властивості оригіналу. В якості моделі виступає інший матеріальний чи подумки представлений об'єкт, що заміщає в процесі дослідження об'єкт-оригінал. Відповідність властивостей моделі вихідного об'єкту характеризується адекватністю – інформація, отримана при дослідженні моделі, може бути з тим або іншим ступенем достовірності перенесена на об'єкт. Невідповідність властивостей моделі та об'єкта може бути обумовлена, наприклад, наступною причиною. При побудові моделі дослідник наділяє елементи моделі абстрактними, ідеальними, уявними властивостями, які не в повній мірі можуть відповідати властивостям реального об'єкта. Тому результати досліджень над моделлю можуть не повною мірою відповідати результатам цих же досліджень над реальним об'єктом. Процес побудови і дослідження моделі називається моделюванням.

У сучасній науці поширені моделі в формі опису об'єкта (предмета, процесу чи явища) на будь-якій формалізованій мові, складеній з метою вивчення його властивостей. Такий опис особливо корисний у випадках, коли дослідження самого об'єкта ускладнене або фізично неможливе.

На основі проведених досліджень виробляються рекомендації:

- за характером взаємодії між системою і навколишнім середовищем;
- за структурою системи, видами організації і типами зв'язків між елементами;

- згідно із законом управління системою.

Головне практичне завдання системного підходу в дослідженні систем управління полягає в тому, щоб, виявивши і описавши складність, обґрунтувати також додаткові фізично реалізовані зв'язки, які, будучи накладеними на складну систему управління, зробили б її керованою в необхідних межах, зберігши при цьому такі області самостійності, які сприяють підвищенню ефективності системи.

Включені нові зворотні зв'язки повинні посилити сприятливі і послабити несприятливі тенденції поведінки системи управління, зберігши і зміцнивши її цілеспрямованість, але при цьому орієнтуючи її на інтереси надсистеми.

2.2. Моделювання як метод системного аналізу.

З одного боку, системою є та фізична реальність, по відношенню до якої необхідно прийняти рішення (будь-які природні та штучні об'єкти). З іншого боку, в процесі системного аналізу створюється абстрактна і концептуальна система, описувана за допомогою символів або інших засобів, яка представляє собою певний структурно-логічний пристрій, мета якого - служити інструментом для розуміння, опису і якомога повнішої оптимізації поведінки зв'язків і відносин елементів реальної фізичної системи. Такого роду абстрактною системою може бути математична, машинна або словесна модель або система моделей і т. ін. У фізичній і відповідній їй абстрактній модельній системі має бути встановлено взаємно-однозначне співвідношення між елементами і їх зв'язками. В цьому випадку виявляється можливим, не вдаючись до експериментів на реальних фізичних системах, оцінити різного роду робочі гіпотези щодо доцільності тих чи інших дій, користуючись відповідною абстрактною модельною системою, і виробити найбільш детально визначене рішення. Однак в цьому випадку, особливо для складних моделей, резонно виникає питання про відповідність використовуваних моделей реальності. Наприклад, без урахування зовнішнього середовища висновки про поведінку системи, отримані

на основі моделювання, можуть бути цілком обґрунтованими при погляді зсередини системи. Але не виключена і ситуація, коли ці висновки не мають ніякого відношення до системи - при погляді на неї з боку зовнішнього світу. Тут приходить на допомогу особливий спосіб моделювання - метод статистичних випробувань. Існуючі сучасні методи математичної статистики дозволяють відповісти на питання, - а чи можна і, з якою довірою, використовувати дані моделювання. Якщо ці показники довіри для нас достатні, ми можемо використовувати модель для відповіді на поставлені вище питання.

З усієї сукупності методів дослідження фахівці виділяють два різних підходи: математичний і логічний.

Прихильники першого з них роблять наголос на математику, тобто на опис складної системи за допомогою формальних засобів (блочних діаграм, мереж, математичних рівнянь). На основі такого роду формального опису часто ставиться математична задача на відшукування оптимального проекту системи або найкращого режиму її функціонування, тобто знаходження за допомогою ЕОМ максимуму (або мінімуму) цільової функції системи (наприклад, максимуму прибутку, мінімуму витрат, максимуму надійності і т. п.) при заданих обмеженнях на значення керованих змінних.

У ньому можна виділити три основні напрями. Ці три напрямки відповідають трьом етапам, які завжди присутні в дослідженні складних систем:

- 1) побудова математичної моделі досліджуваного об'єкта;
- 2) постановка завдання дослідження;
- 3) рішення поставленої математичної задачі.

Розглянемо ці етапи.

1. Побудова математичної моделі (формалізація досліджуваної системи, процесу або явища) є опис процесу на мові математики. При побудові моделі здійснюється математичний опис явищ і процесів, що відбуваються в системі. Оскільки знання завжди є відносним, опис будь-якою мовою відображає лише деякі сторони процесів, що відбуваються, і ніколи не є абсолютно повним. З іншого боку, слід зазначити, що при побудові моделі необхідно приділяти основну

увагу тим сторонам процесу, що вивчається, які цікавлять дослідника. Таким чином,

математична модель є наближенням представленням реальних об'єктів, процесів або систем, вираженням в математичних термінах і зберігає суттєві риси оригіналу. Математичні моделі в кількісній формі, за допомогою логіко-математичних конструкцій, описують основні властивості об'єкта, процесу або системи, його параметри, внутрішні і зовнішні зв'язки.

Глибоко помилковим є бажання при побудові математичної моделі системи відобразити всі сторони існування системи. При проведенні системного аналізу, як правило, цікавляться динамічною поведінкою системи, причому при описі динаміки з точки зору проведеного дослідження є першорядні параметри і взаємодії, а є несуттєві в даному дослідженні параметри і взаємодії. Таким чином, якість моделі визначається відповідністю виконаного опису тим вимогам, які пред'являються до дослідження, відповідністю одержуваних за допомогою моделі результатів ходу спостережуваного процесу або явища. Побудова математичної моделі є основа всього системного аналізу, центральний етап дослідження або проектування будь-якої системи. Від якості моделі залежить результат всього системного аналізу.

За принципами побудови математичні моделі поділяють на *аналітичні і імітаційні*.

В *аналітичних* моделях процеси функціонування реальних об'єктів, процесів або систем записуються у вигляді явних функціональних залежностей.

Однак існує клас об'єктів, для яких з різних причин не розроблені аналітичні моделі, або не розроблені методи рішення отриманої моделі. В цьому випадку аналітична модель замінюється імітатором або імітаційною моделлю.

У *імітаційному* моделюванні функціонування об'єктів, процесів або систем описується набором алгоритмів. Алгоритми імітують реальні елементарні явища, що становлять процес або систему зі збереженням їх логічної структури і послідовності протікання в часі.

Імітаційне моделювання дозволяє за вихідними даними отримати відомості про стани процесу або системи в певні моменти часу, проте прогнозування поведінки об'єктів, процесів або систем тут виявляється досить складним. Можна сказати, що імітаційні моделі - це проведені на ЕОМ обчислювальні експерименти з математичними моделями, що імітують поведінку реальних об'єктів, процесів або систем.

Основу побудови імітаційної моделі складають системний аналіз об'єкта, що моделюється, і системний синтез його моделі.

Залежно від характеру досліджуваних реальних процесів і систем математичні моделі можуть бути **детерміновані і стохастичні**.

У **детермінованих** моделях передбачається відсутність будь-яких випадкових впливів, елементи моделі (змінні, математичні зв'язки) досить точно встановлені, поведінку системи можна точно визначити. При побудові детермінованих моделей найчастіше використовуються алгебраїчні рівняння, інтегральні рівняння, матрична алгебра.

Стохастична модель враховує випадковий характер процесів в досліджуваних об'єктах і системах, який описується методами теорії ймовірності та математичної статистики.

За поведінкою моделей в часі вони поділяються на **статичні і динамічні**. **Статичні** моделі описують поведінку об'єкта, процесу або системи в будь-який момент часу. **Динамічні** моделі відображають поведінку об'єкта, процесу або системи в часі. В цьому випадку параметри моделі являють собою функції від часу і цільова функція включає в себе координату часу.

2. На даному етапі формулюється мета аналізу. Мета дослідження передбачається зовнішнім фактором по відношенню до системи. Таким чином, мета стає самостійним об'єктом дослідження. Мета повинна бути формалізована. Завдання системного аналізу полягає в проведенні необхідного аналізу невизначеностей, обмежень і формулюванні, в кінцевому рахунку, деякої оптимізаційної задачі $S_f = f(x) \rightarrow \max, x \in G$. Тут S_f - число, яке відображає кількісний

критерій досягнення мети; f - цільова функція, x - елемент деякого нормованого простору G , що визначається природою моделі, $G \subseteq E$, де E - множина, яка може мати яку завгодно складну природу, що визначається структурою моделі та особливостями досліджуваної системи. Таким чином, завдання системного аналізу на цьому етапі трактується як деяка оптимізаційна проблема.

Аналізуючи вимоги до системи, тобто цілі, які передбачає досягти дослідник, і ті невизначеності, які при цьому неминуче присутні, дослідник повинен окреслити мету аналізу на мові математики. Мова оптимізації виявляється тут природною і зручною, але зовсім не єдиною можливою.

3. Тільки цей третій етап аналізу можна віднести власне до етапу, який використовує в повній мірі математичні методи. Хоча без знання математики і можливостей її апарату успішне виконання двох перших етапів неможливо, так як і при побудові моделі системи, і при формулюванні мети і задач аналізу широке застосування повинні мати способи формалізації. Однак зазначимо, що саме на завершальному етапі системного аналізу можуть знадобитися тонкі математичні методи. Але слід мати на увазі, що завдання системного аналізу можуть мати ряд особливостей, які призводять до необхідності застосування поряд з формальними процедурами евристичних підходів. Причини, за якими звертаються до евристичних методів, в першу чергу пов'язані з недоліком апріорної інформації про процеси, що відбуваються в аналізованій системі.

Інший підхід на перше місце ставить логіку системного аналізу. В цьому випадку підкреслюється нерозривний зв'язок системного аналізу з прийняттям рішення, що означає вибір певного способу або курсу дій серед кількох можливих альтернатив. Тут системний аналіз розглядається, перш за все, як методологія з'ясування й упорядкування або так званої структуризації проблеми, яку належить вирішити із застосуванням або без застосування математики і ЕОМ. При цьому в поняття «структуризації» вкладається як пояснення реальних цілей самої системи, альтернативних шляхів досягнення цих цілей і взаємозв'язків між компонентами в процесі реалізації

кожної альтернативи, так і досягнення поглибленого розуміння зовнішніх умов, в яких виникла проблема, а звідси обмежень і наслідків того чи іншого курсу дій.

Логічний системний аналіз в тій чи іншій мірі доповнюється математичними, статистичними і логічними методами, проте як сфера його застосування, так і методологія значно відрізняються від предмета і методології формально-математичних системних досліджень. Через деякий час вчені прийшли до висновку, що стратегічні завдання не зовсім легко кваліфікуються (тобто виражаються кількісно) через відсутність однозначного критерію оптимальності для системи в цілому і вимагають при виробленні рішень залучення суб'єктивних суджень досвідчених керівників і експертів. Навіть при чіткій логічно-структурній основі дослідження і застосуванні формальних методів оцінки альтернатив і пошуку найкращих рішень величезну роль на всіх його стадіях продовжують грати суб'єктивні судження і інтуїція експертів та осіб, відповідальних за прийняття рішень. Тому стала вироблятися концепція такого системного аналізу, в якому робиться наголос переважно на розробку нових за своєю суттю діалектичних принципів наукового мислення, логічного аналізу складних об'єктів з урахуванням їх взаємозв'язків і суперечливих тенденцій. При такому підході на перший план висуваються вже не математичні методи, а сама логіка системного аналізу, упорядкування процедури прийняття рішень. Ці методи, засновані на виявленні та узагальненні думок досвідчених фахівців-експертів, використанні їхнього досвіду і нетрадиційних підходів до аналізу діяльності організації включають: метод «мозкової атаки», метод типу «сценаріїв», метод експертних оцінок, метод типу «Дельфі», методи типу «дерева цілей», «ділової гри», морфологічні методи, SWOT-аналіз і ряд інших методів (див. спеціальну літературу). І мабуть, не випадково, що останнім часом під системним аналізом найчастіше розуміється деяка сукупність системних принципів і йому відповідає наступне визначення.

***Системний аналіз** - це взаємопов'язане логіко-математичний та комплексний розгляд всіх питань, що відносяться не тільки до*

задуму, розробки, виробництва, експлуатації та подальшої ліквідації систем, але і до методів керівництва всіма цими етапами з урахуванням соціальних, політичних, стратегічних, психологічних, правових, географічних, демографічних, військових та інших аспектів.

У чому полягає основне значення системного аналізу?

Системний аналіз дозволяє незмірно глибше і краще осмислити сутність теорії систем, їх структуру, організацію, завдання, закономірності розвитку, оптимальні шляхи і методи управління. Системний аналіз загострює інтуїцію особи, що приймає рішення, і цим розширює основу для її суджень, допомагаючи таким чином виробити найкраще рішення.

Тенденція до системного аналізу великих проблем з'являється особливо тоді, коли їх масштаб зростає до такого ступеня, що рішення стають складними, трудомісткими і дорогими. При обґрунтуванні таких рішень, які стають предметом системного аналізу, все більшого значення набувають фактори, розраховані вперед на 10-15-річний період. До факторів такого роду відноситься, перш за все, величезне зростання капіталовкладень на здійснення великих програм, що охоплюють тривалий період, і все більша залежність цих програм від результатів наукових досліджень і технічних розробок.

Іншою важливою причиною необхідності врахування тривалої перспективи є стратегічний характер самих цілей, які ставляться перед системним аналізом і які зумовлюють політику уряду (або організації) на тривалий період. Важливо відзначити, що чим більш загальні і важливі проблеми виникають перед керівниками різних рівнів, тим більше зростає значення системного аналізу для їх вирішення.

Де можна і потрібно застосовувати системний аналіз?

В якості основного і найбільш цінного результату системного аналізу визнається не кількісне певне рішення проблеми, а вивчення проблемної ситуації, з'ясування її причин, вироблення варіантів її усунення, прийняття рішення і організація подальшого

функціонування системи, що вирішує проблемну ситуацію. Це в свою чергу означає, що застосування системного аналізу визначається типом проблем, тому розглянемо детальніше, що розуміється в системному аналізі під проблемою.

2.3. Системне розуміння мети і проблеми.

Як було вже сказано при системному підході об'єкт аналізу представляється системою, яка виконує роль моделі, над якою і проводяться дослідження. Логічної ж основою побудови і розгляду будь-яких систем є точне визначення мети (функції основного призначення) системи або з'ясування змісту її існування. У свою чергу мета системи задається суб'єктом, що здійснює аналіз, або цю мету йому встановлюють замовники з тим, щоб він виробив оптимальне рішення по досягненню цієї мети. У цьому випадку може виникнути ситуація, коли при наявності мети невідомо як її досягти або невідповідність між фактичним станом об'єкта і бажаним станом об'єкта, який забезпечував би досягнення мети. У системному аналізі таку ситуацію прийнято називати проблемою, а *метою* – *образ неіснуючого, але бажаного стану об'єкта, який вирішив би проблему*.

Отже, в системному розумінні проблеми і мети можна виділити двох учасників - *суб'єкта і об'єкта*.

Суб'єкт вирішує такі завдання, як спостереження, аналіз, опис, проектування, експлуатація об'єкта або управління ним.

Об'єктом аналізу може бути процес явище, предмет, пристрій, проблема, підприємство і т. п.

При цьому мету можна розглядати з позицій суб'єкта та об'єкта.

2.3.1. Системне розуміння мети.

Мета з позиції суб'єкта визначається як мета аналізу, опису, проектування (створення або реорганізації) та управління:

- *мета аналізу об'єкта* - виявити наявність і місце протиріч (проблемної ситуації), причин їх виникнення та способів усунення;
- *мета опису об'єкта* - уявити проблемну ситуацію у вигляді, зручному для аналізу;
- *мета проектування* (створення або реорганізації) об'єкта - розв'язати проблемну ситуацію за допомогою створення нового

об'єкта або реорганізації старого;

- *мета управління* - підтримка функціонування об'єкта відповідно до завдання.

Мета з позиції об'єкта визначається як мета функціонування даного об'єкта, яка може бути закладена його творцем або формуватися всередині об'єкта.

Розглянемо деякі важливі особливості мети:

- *Вибір мети суто суб'єктивний*, тобто заснований на конкретному знанні індивіда чи спільноти (не можна бажати того, про що не знаєш) і спрямований на задоволення конкретної життєвої потреби.

- *Мета конкретна*. Задоволення мети може принести тільки конкретний результат, отриманий за допомогою конкретних засобів в конкретних умовах.

- *Мету можна розглядати як засіб оцінки майбутнього результату*.

- *Мета завжди несе в собі елементи невизначеності*, що неминуче призводить до деякої неузгодженості фактично отриманого результату і того, що було заплановано.

Ще древніми філософами помічені властивості будь-якої людської діяльності: отримані результати завжди відрізняються від запланованих цілей. У процесі здійснення діяльності людина зазвичай керується принципом збігу цілей і результатів, і нерідко потрапляє в халепу, дивуючись, що планував одне, а отримав інше. Особливо це небезпечно при організації бізнесу, який може закінчитися крахом.

Сучасні уявлення про розбіжності цілей і результатів діяльності пов'язані з ім'ям російського філософа М. М. Трубнікова, який стверджував, що її причиною є «подвійність» використовуваних засобів. Дійсно, коли кошти підбираються для реалізації наміченої мети, наприклад, технологія, персонал і т. ін., то, будучи ще не випробуваними в реальній діяльності, вони являють собою ідеальні засоби, тобто кошти, лише подумки відповідні для досягнення цілей. А на практиці вони починають проявляти себе як реальні предмети з

такими властивостями, багато з яких заздалегідь пізнати було неможливо. Адже ці властивості проявляються лише у взаємодії з іншими предметами, тому поки такої взаємодії не було, поки кошти не були «вмонтовані» в реальні системи, вони залишалися абстрактними, ідеальними, уявними засобами. І як ідеальні засоби вони, здавалося, здатні були б забезпечити реалізацію запланованих цілей. Але коли вони стають реальними коштами, то дають результат, який в чомусь не збігається з цілями.

Рідко зустрічаються випадки, коли у суб'єкта є тільки одна мета – найчастіше їх кілька (зокрема, чим вище рівень управління, тим більше цілей, навіть якщо текстуально вони об'єднані одним формулюванням - «глобальна мета»), і важливо не упустити якусь істотну з них.

Наприклад, в бізнесі організація (підприємство) є засобом досягнення певної мети в інтересах власників бізнесу. Ця мета є головною метою організації. Однак, вона не може бути зведена тільки до отримання максимального прибутку, вона повинна являти собою суму цілей усіх його працівників, споживачів та ін. При цьому інші учасники бізнесу мають свої цілі. Типові інтереси основних учасників бізнесу вказані в таблиці 1.

Таблиця 1.

Учасник бізнесу	Типові економічні інтереси
Власник акцій	Збільшення розміру річного дивіденду. Підвищення вартості акцій.
Керуючий	Збільшення платні і премій.
Службовець	Підвищення гарантії зайнятості. Підвищення рівня оплати праці. Максимізація соціального пакета.
Споживач	Мінімізація цін. Підвищення якості продуктів. Гарантійне обслуговування, максимізація терміну гарантії. Максимізація терміну товарного кредиту.

Постачальник	Мінімізація товарного кредиту. Створення відносини залежності. Максимізація терміну контракту, завчасність замовлення.
Фінансист	Здатність виплачувати позики з відсотками. Якісне управління потоком грошових коштів.
Уряд	Збільшення кількості робочих місць. Максимізація виплати податків. Максимізація внеску в економічне зростання і баланс платежів.
Соціальна група	Мінімізація ризику для навколишнього середовища. Фінансування соціальних акцій.

Таким чином, суб'єкту на першому етапі системного аналізу доводиться вирішувати три завдання, пов'язані з метою:

- формулювання мети аналізу (в широкому сенсі);
- розуміння мети замовника;
- розуміння внутрішньої мети об'єкта аналізу.

Для полегшення завдання визначення мети застосовується декомпозиція (деталізація) цілі у вигляді невпорядкованого або упорядкованого набору взаємопов'язаних підцілей (структуризація), яка робить її більш конкретною і зрозумілою для всіх учасників процесу цілеутворення.

Найбільш популярною структуризацією цілей є побудова так званого «дерева цілей».

Справа в тому, що, *будь-яка система характеризується подвійністю, будучи одночасно і метою і засобом*. Призначення (роль) цієї системи є мета, для досягнення якої призначені компоненти системи як засоби, а з іншого боку, сама ця система є засобом для досягнення мети більш високого порядку. Наприклад, виробництво моторів є метою для працівників моторного цеху, але засобом для підприємства в цілому.

Опис відносин між цілями і засобами може бути відображений спеціальною схемою (графом), що носить назву «дерево цілей», яка була запропонована ще в 1957 р. групою американських вчених. Термін «дерево» передбачає використання ієрархічної структури, отриманої шляхом поділу загальної мети на підцілі. Потім вона була з успіхом використана в ряді великих військових і промислових програм в США, а в даний час є повсякденним інструментом практично будь-якого сучасного менеджера.

Побудова «дерева цілей» починається з процедури структуризації, розчленування основної мети на складові елементи, так звані підцілі, кожна з яких є засобом, напрямком або етапом її досягнення. Потім кожна з підцілей в свою чергу розглядається як мета і розчленовується на компоненти. Якщо всі ці елементи уявити графічно, то вийде так зване «дерево цілей», звернене «короною» вниз. При цьому головна мета виявляється на верхньому рівні. Процес розчленування слід вести до тих пір, поки на самому нижньому рівні «дерева» не опиняться кошти, реалізація яких не викликає принципових труднощів і сумнівів.

Фрагмент «дерева цілей» наведено на Рис. 3.



Рис. 3. Фрагмент «дерева цілей»

Для перевірки повноти і внутрішньої несуперечності «дерева цілей» існують чотири простих правила:

- При читанні зверху вниз підціль повинна відповідати на питання: що потрібно зробити, щоб реалізувати мету попереднього рівня?
- При читанні від низу до верху мета вищого рівня повинна відповідати на питання: для чого необхідна мета безпосередньо під нею?
- При читанні підціль, необхідних для досягнення однієї мети, слід уточнити, чи всі підцілі дійсно необхідні для її досягнення.
- При читанні підціль, необхідних для досягнення однієї мети, слід уточнити, які ще підцілі цього рівня необхідні для досягнення мети.

Для кількісної оцінки ступеня досягнення мети використовуються **критерії**. У цьому сенсі *критерії можна розглядати як кількісні моделі якісних цілей*. Критерії повинні якомога повніше відображати мету.

Необхідність в критеріях виникає при реалізації завдань управління, зокрема, задач оптимізації та прийняття рішень, коли виникає необхідність оцінки наявних альтернатив. Визначення значення критерію для даної альтернативи є, по суті, непрямим виміром ступеня її придатності (цінності) як засобу досягнення мети.

Для досягнення повноти моделі ситуації, що розглядається крім критеріїв необхідно враховувати наявні **обмеження** чи інакше **примушуючі зв'язки** - умови, які обмежують і описують, як мета повинна бути досягнута. Справа в тому, що рішення будь-якої реальної задачі стикається з обмеженнями, які можна розділити на:

- об'єктивні – закони природи і ресурсні обмеження;
- суб'єктивні – пов'язані з системою цінностей.

Цільовий критерій як би відкриває можливості для висунення все нових і нових альтернатив в пошуках кращої з них, а обмеження свідомо зменшує їх число, забороняючи деякі з альтернатив. Одними цільовими критеріями можна жертвувати заради інших, а обмеження виключити не можна, воно повинно жорстко дотримуватися. У цьому

сенсі обмеження спрощують, а не ускладнюють роботу системного аналітика.

У практиці системного аналізу зустрічаються випадки, коли накладені обмеження настільки сильні, що роблять нереальним досягнення мети. Тоді системний аналітик повинен ставити перед особою, яка приймає рішення, питання про те, чи не можна ці обмеження послабити або зняти зовсім.

2.3.2. Системне розуміння проблеми.

У загальному випадку під **проблемою** розуміють невідповідність між бажаним і фактичним станом справ, що вимагає свого вирішення. У розглянутому нами випадку **проблема** - відмінність між бажаним і дійсним станами об'єкта, ліквідація якої не є очевидною.

Всі проблеми в залежності від глибини їх пізнання поділяються на три класи:

а) добре **структуровані** або кількісно сформульовані проблеми, в яких істотні залежності з'ясовані настільки добре, що вони можуть бути виражені в числах і символах, які отримують, в кінці кінців, чисельні оцінки;

б) **неструктуровані** або якісно виражені проблеми, що містять лише опис найважливіших ресурсів, ознак і характеристик, кількісні залежності між якими абсолютно невідомі;

в) **слабо структуровані** або змішані проблеми, які містять як якісні, так і кількісні елементи, причому якісні маловідомі і невизначені сторони проблеми мають тенденцію домінувати.

Для вирішення **добре структуризованих проблем** використовується методологія дослідження операцій. Вона полягає в застосуванні математичних моделей і методів (лінійного, нелінійного, динамічного програмування, теорії масового обслуговування, теорії ігор і т. ін.) для пошуку оптимальної стратегії управління цілеспрямованими діями. Основна проблема застосування методів дослідження операцій полягає в тому, щоб правильно підібрати типову або розробити нову математичну модель, зібрати необхідні вихідні дані і переконатися шляхом аналізу вихідних передумов і

результатів математичного розрахунку, що ця модель відображає сутність розв'язуваної задачі.

У *неструктурованих проблемах* традиційним є логіко-евристичний метод, який полягає в тому, що досвідчений фахівець збирає максимум різних відомостей про розв'язувану проблему, вживається в неї і на основі інтуїції і суджень вносить пропозиції про доцільні заходи. При такому підході відсутня будь-яка впорядкована логічна процедура відшукування рішення, і фахівець, який висуває певні пропозиції, не може скільки-небудь чітко викласти спосіб, на основі якого він від сукупності розрізнених вихідних відомостей прийшов до остаточних рекомендацій. При вирішенні проблеми такий фахівець покладається на наявний власний досвід, на досвід своїх колег, на професійну підготовленість, на вивчення аналогічних проблем методом ситуацій, але не на чітко сформульовану методику.

До *слабо структурована проблем*, для вирішення яких призначений системний аналіз, який передбачає взаємозалежне логіко-математичний та комплексний розгляд всіх питань, відноситься більшість найбільш важливих економічних, технічних, політичних і військово-стратегічних завдань великого масштабу.

Типовими проблемами такого роду є ті, які:

- а) намічені для вирішення в майбутньому;
- б) стикаються з широким набором альтернатив;
- в) залежать від поточної неповноти технологічних досягнень;
- г) вимагають великих вкладень капіталу і містять елементи ризику;
- д) внутрішньо складні внаслідок комбінування ресурсів, необхідних для їх вирішення.

При здійсненні системного аналізу в процесі структуризації проблеми деякі її елементи-підзадачі отримують кількісне вираження, і відносини між усіма елементами стають все більш визначеними. Виходячи з цього, на відміну від застосування методів дослідження операцій, при використанні системного аналізу зовсім не обов'язкова початкова чітка і вичерпна постановка проблеми, ця чіткість повинна досягатися в процесі самого аналізу і розглядається як одна з його

головних цілей. Задачі методів дослідження операцій можуть бути поставлені в кількісній формі і вирішені на ЕОМ. На противагу цьому стратегічні проблеми, що складаються у виробленні довгострокової політики в області виробництва, як правило, не можуть бути сформульовані як задачі дослідження операцій. Проблеми такого роду є предметом системного аналізу.

У системному аналізі поняття проблеми визначається і трактується досить широко. Це обумовлено, з одного боку – формуванням системного аналізу як науки зі своєю предметною і понятійною областями, з іншого боку – наявністю декількох альтернативних наукових шкіл, що працюють в конкретній предметній області знань – в даному випадку – в області економіки, в аналізі функціонування підприємства, економічної безпеки, при аналізі ефективності інвестиційних проектів.

У ряді фундаментальних робіт з системного аналізу, що відносяться до зарубіжних робіт 70-60 років минулого століття, наводиться таке поняття проблеми.

***Проблема** визначається як деяка ситуація в системі, в якій є два стани: один називається існуючим, а інший – пропонованим, прогнозованим або бажаним, причому, перехід системи з існуючого стану в прогнозований стан не може бути виконаний без управлінських впливів на систему. Існуючий стан представляється існуючою системою, пропонований стан представляється гіпотетичною (або бажаною, прогнозованою) системою.*

Розглянемо ***шлях правильної постановки проблеми***, який можна вважати науково обґрунтованим.

Спочатку отримують відповідь на питання, чи існує проблема і що стало її джерелом (зміна зовнішніх умов, зміна внутрішнього стану системи, негативний вплив перешкод і збурень, некоректні управлінські рішення та ін.)? Далі слідує її точне формулювання і аналіз її структури. Потім розглядаються розвитки проблеми (в минулому і майбутньому), зовнішні зв'язки даної проблеми з іншими проблемами і ставиться питання про принципову можливість розв'язання проблеми.

Розглянемо деякі аспекти цього методу.

Відомо, що будь-яке завдання по вдосконаленню діяльності в будь-якій області включає вирішення ряду питань.

По-перше, треба чітко встановити межі області, яка вдосконалюється, що виключає тенденцію «обійняти неосяжне».

По-друге, слід сформулювати умови, які характеризують необхідний або бажаний стан справ в цій галузі. Необхідним його називають тоді, коли він об'єктивно зумовлений, а бажаним - при суб'єктивному підході.

По-третє, потрібно визначити фактичний стан справ в аналізованій області і на цій основі виявити недоліки, тобто невідповідність між необхідним (бажаним) і фактичним станом справ.

По-четверте, слід оцінити наслідки, до яких призводять виявлені недоліки, якщо їх не усунути, або інакше – оцінити актуальність виявлених проблем. І якщо проблеми актуальні, вважаємо, що вони потребують вирішення.

Рішення проблеми встановлює, яким чином буде заповнений інтервал між існуючим і бажаним станом. **Рішення**, таким чином, є заповнення керуючими діями між існуючим і бажаним станом, які виконують цілеспрямоване перетворення одного стану системи в інший. *Щоб побудувати таке рішення, треба проаналізувати причини, які породжують виявлені недоліки, а також визначити засоби усунення цих причин і потім встановити шляхи реалізації обраних засобів.* Дане рішення проблеми виконується за допомогою процесу навчання.

Навчання, в теорії активних систем, визначається як пізнавальні дії, що забезпечують розпізнання справжніх і майбутніх станів системи, а також побудова моделі зворотного (керуючого) зв'язку, що виконує перетворення одного стану системи в інший. Управління за допомогою зворотного зв'язку заповнює проміжок між існуючим і бажаним станом і зберігає дію системи в запропонованих межах. ***Цей процес є процес вирішення проблеми.***

При формулюванні проблеми або аналізі стану системи на предмет виявлення проблеми, перш за все, однозначно сформулюйте проблему (правильне формулювання проблеми - запорука підвищення ефективності громадського та приватного виробництва). Мета формулювання проблеми полягає в тому, щоб встановити сутність проблеми в відомих термінах і параметрах, а не в термінах, які невідомі, для чого:

- визначте або уточніть мету, визначте стан системи на момент часу формування проблеми, визначте примушуючі зв'язки;

- поставте необхідні умови, визначте достовірність умов і їх економічний зміст, визначте зв'язки економічних параметрів з організаційними, техніко-технологічними або іншими, які необхідні для вирішення проблеми;

- встановіть межі допустимих змін станів системи і підлягаючі оцінці альтернативи, розставте альтернативи в міру їх економічних переваг;

- встановіть узгоджені критерії, визначте чисельні значення критеріїв, визначте допустимі і найбільш ефективні значення критеріїв;

- сформулюйте там, де необхідно, робочі гіпотези, припущення, дії і їх послідовність щодо вирішення проблеми, визначте необхідні припущення та їх економічну ефективність;

- визначте параметри і стани, які є найбільш ризиковими, визначте природу ризику і економічні наслідки ризикових рішень.

Після того, як стануть зрозумілими вихідні та змістовні аспекти проблеми, коли проблема буде ясною за структурою, параметрами і ризиком, слід:

- визначити процеси, які будуть відбуватися в системі при вирішенні проблеми;

- перевірити повноту і достовірність інформації про стан системи, а при необхідності провести обробку всієї інформації, що відноситься до вирішення проблеми;

- розробити безпосередньо сам алгоритм вирішення проблеми, заснований на розумінні проблеми і на наявній інформації для її вирішення;
- отримати часткові, досвідчені і/або попередні рішення, якщо можливо, то отримайте повне вирішення проблеми;
- на основі заданих значень критеріїв перевірте отримані рішення.

Впровадження або реалізація рішення незмінно є однією з ключових перевірок рішень, без яких рішення може бути тільки дослідницьким. Якщо експериментальна реалізація рішення неможлива, проведення перевірок рішень має відігравати більш важливу роль.

Час, потрібний для вирішення проблеми, в наведеному переліку етапів вирішення проблеми не вказано. Призначити тривалість процесу повного вирішення проблеми неможливо. Однак корисно уявляти собі відносну кількість часу, який має бути витрачений на кожну значну область вирішення проблеми. Потрібний для кожної області час широко варіює залежно від розмірів даної проблеми.

Дзеркальне відображення формулювання проблеми є вироблення визначення мети. Термін мета використовується тут для того, щоб описати конкретний результат, який підлягає досягненню. Нагадаємо, в системному розумінні **ціль** - *образ неіснуючого, але бажаного стану об'єкта, який вирішив би проблему*. Ціль може мати вигляд, який обумовлює досягнення максимуму (або мінімуму) деякої функції або величини, причому, ця величина ще повинна бути визначена, або ж повинна приймати вид завдання діапазону значень, всередині якого має перебувати рішення. У всіх випадках мета є бажаним результатом діяльності.

Не слід плутати цілі і примушуючі зв'язки. **Примушуючі зв'язки** є умови, які обмежують і описують, як мета повинна бути досягнута. Їх дія обмежує проблему або вводить проблему в кордони.

Комбінація цілей, які визначають напрямок дій і примушуючих зв'язків, що обмежують цілі, утворюють обмеження,

при якому починається вивчення проблеми. **Обмеження** є сума правил, встановлень і висунутих особисто або ззовні керівних принципів, що визначають кордон проблеми. Кожна проблема повинна мати визначені у договорі обмеження. Сумісність мети і примушуючих зв'язків істотна. Без згоди щодо обмежень неймовірно, щоб була згода щодо рішень. Безглуздо говорити про «рішення», якщо зацікавлені в ситуації групи осіб не здатні дійти згоди щодо проблеми або обмеження.

Коли фахівець з аналізу систем формує **умову проблеми**, він ставить межі дослідження проблеми і, отже, **межі обмеження**. У математичному сенсі умови можуть бути визначені як достатні, надлишкові або суперечливі, а інших форм вони приймати не можуть.

Умова проблеми є **надлишковою**, якщо вона містить непотрібні елементи. Непотрібними елементами можуть бути ті, які не використовуються в аналізі, не впливають на результат або, наприклад, в економічному сенсі, мають тенденцію викликати втрати чи перевитрати. Приклад надлишкової умови: планується вивчення автоматизації великомасштабної системи контролю запасів з примушуючим зв'язками, що складаються у вимозі, щоб існуюча ручна система обробки інформації продовжувала працювати паралельно з автоматизованою системою.

Умова може також містити протиріччя. **Суперечливий елемент** це такий, який тісно пов'язаний з іншими елементами (параметрами), причому, якщо один елемент або параметр істинний, інший повинен бути помилковим. Приклад суперечливої умови: мета субпідрядника полягає в тому, щоб щомісяця складати графік росту продукції, узгоджений з вимогами замовника. Однак темп випуску продукції замовником невідомий. Наслідком суперечливої умови є неузгодженість частин проблеми одна з одною і, таким чином, їх взаємна протилежність.

Достатня умова виконується, якщо примушуючі зв'язки сумісні з пропонованою метою, причому мета визначена адекватно вимогам до системи. Достатність передбачає точність і має все

необхідне, щоб виконати вимогу без будь-яких надмірностей. Приклад достатньої умови на ресурсній задачі: комірник складу електронної продукції отримує наказ на негайну поставку. Він перевіряє свої запаси, визначає, що необхідна річ є в наявності, і постачає її в той же день.

З самого початку вивчення проблеми необхідно надати обмеженню та умові рівне значення. Вивчення проблем рідко проводиться в ідеальній обстановці, звичайно їх вивчають в ситуації, в якій обмеження можуть бути тільки відносно достатніми і очевидно неповними. Деякі з найбільш важких проблем якраз ті, щодо яких немає впевненості, що обмеження достатнє. В цьому випадку фахівець з аналізу систем повинен виходити з припущення про достатність.

Іноді важливо визначити обстановку, яка породила проблему. Інформація цього змісту може служити основою для дослідження проблеми або визначення структури її дослідження. Вивчення історії проблеми може допомогти при визначенні підстав проблеми. У спірних ситуаціях тільки історія може бути прийнятним спільним знаменником дослідження. Історичне формулювання проблеми має на увазі знання проблеми та деяких фактів, що мають відношення до справи.

2.4. Методи порівняння та вимірювання систем.

Найважливішою методологічною проблемою системного аналізу є розробка *теорії і методів порівняння і вимірювання систем*. Ця проблема надзвичайно актуальна для практики прикладних системних досліджень і, в першу чергу, для економічних систем, проте до цих пір залишається слабо розробленою. Такі властивості систем, як цілісність, ієрархічність, неаддитивність, нескінченність і інші, породжують численні труднощі кількісного виміру ефективності їх функціонування. У практиці системних досліджень часто виникає необхідність порівняння систем з різною структурою, оцінки еволюції систем в структурному і функціональному відношенні, порівняння різнорідних елементів і підсистем.

Однією з таких проблем є порівняння різнорідних об'єктів. Практична потреба в такому порівнянні виникає досить часто. Хоча порівнювані об'єкти мають різну природу, найчастіше безлічі їх характеристик перетинаються. І якщо цілі порівняння описуються характеристиками з області цього перетину, то стає можливим безпосереднє зіставлення різнорідних об'єктів. Наприклад, при перевезенні вантажів в якості їх характеристики може виступити маса, і в даному випадку всі об'єкти вимірюються і порівнюються по масі. Іншим прикладом такого порівняння може бути економічний показник - вартість різнорідних товарів і послуг, які виміряні і співвіднесені один з одним в будь-якій валюті.

У практиці системних досліджень найчастіше виникають завдання порівняння різнорідних елементів і підсистем за результатами їх функціонування. В цьому випадку їх характеристики зазвичай не перетинаються. Необхідність такого порівняння (або вимірювання в єдиній мірі, шкалі) часто виникає при спробах визначення характеристик функціонування систем через характеристики функціонування елементів. Ця проблема пов'язана з корінною і до сих пір не знайшовшою задовільного рішення проблемою дослідження операцій і системного аналізу – зведення векторного критерію (характеризується набором чисельних значень – координат вектора) до скалярного виду.

Для зручності викладу розглянемо дві сторони кількісного представлення систем:

- вимірювання параметрів будови об'єкта (характеристик його структурного опису);
- вимірювання параметрів його функціонування.

Визначення чисельних значень параметрів структурного опису об'єкта в більшості випадків не є проблематичним. Такі характеристики структури системи, як число рівнів ієрархії, кількість підсистем і елементів і деякі інші, найчастіше піддаються прямому підрахунку. Наприклад, при структурному описі будь-якої галузі народного господарства наводиться число рівнів його організації, число ланок управління на кожному рівні і відповідне їм число

виробничих об'єднань за типами. У свою чергу кожне об'єднання може бути представлено числом і типами підприємств, а підприємства – характеризуватися номенклатурою продукції, виробничими потужностями, числом зайнятих, характеристиками обладнання і так далі. Перераховані параметри – складова частина кількісної характеристики будь-якої економічної системи, крім того, ці параметри є основою уявлення динаміки досліджуваної системи. Вони фіксують ті елементи і підсистеми, які діють і взаємодіють в описі її функціонування. Тому вибір параметрів структурного опису системи безпосередньо визначається метою дослідження, що розглядаються структурним зрізом системи і гіпотезою про механізм її функціонування.

Структурний опис системи побічно характеризує її функціональні можливості, проте ні в якій мірі не відображає сутність процесів, що відбуваються в ній. Для вивчення функціональних можливостей системи існує її параметричний опис. Саме тому оцінити еволюцію структури системи в часі або порівняти різні структури між собою, як правило, не вдається без урахування якості функціонування порівнюваних систем, так як відсутній об'єктивний критерій порівняння. При такому порівнянні порушуються всі принципи системного дослідження системи, тому що не враховується відмінність цілей і завдань систем, відмінність структури, механізму функціонування порівнюваних систем.

Неспроможність такого підходу очевидна, оскільки коректне порівняння передбачає врахування перелічених системних факторів. Крім того, коректне порівняння передбачає єдність заходів, єдність функціонального завдання (або цілі, якщо порівнюються системи в цілому) і єдність умов. На підставі властивостей складних систем, в теорії систем сформульований основний принцип вимірювання – наслідок теореми Геделя, який свідчить, що *про якість функціонування будь-якої системи можна судити лише з точки зору системи вищого порядку*. Іншими словами, перебуваючи всередині системи, неможливо визначити ефективність її діяльності. Для цього треба стати над нею, обов'язково представити досліджувану систему

як частину більш загальної системи і проводити оцінку з точки зору цілей і завдань останньої.

Очевидно, реалізація принципів вимірювання та порівняння можлива тільки при системному поданні об'єкта дослідження, при дотриманні принципів його опису. При цьому механізм узагальнення і деталізації інформації при переході з одного рівня опису системи на інший повинен бути зафіксований в явній формі.

Зазвичай передбачається, що діяльність системи спрямована на досягнення мети, яка може бути виражена якимось єдиним критерієм. Практично всі методи дослідження операцій засновані на припущенні про існування єдиного критерію. У цьому випадку діяльність системи управління стає адекватною процедурі вирішення деякої оптимізаційної задачі, в якій відшукується екстремум певного функціоналу-критерію, на змінні якого накладено обмеження. Найбільш коректним критерієм, в даному випадку, є глобальний критерій – максимізація часу життєвого циклу досліджуваної системи. Досягнення відповідного екстремуму критерію ототожнюється з досягненням мети системи. Оптимізація здійснюється вибором значень спеціальних змінних, які в теорії систем називаються керованими.

У деяких випадках подібний підхід може бути застосований і в контексті системного аналізу при моделюванні окремих сторін функціонування системи. Однак в загальному випадку цей підхід непридатний, що є гальмом у подальшому розвитку методів дослідження операцій.

Справа в тому, що для складних систем зазвичай неможливо вказати якийсь один скалярний критерій, оптимізація якого відповідала б досягненню цілей системи. Кожна ланка ієрархічної системи управління, як правило, змушена вирішувати цілий комплекс завдань, намагається знайти рішення, що оптимізує векторний критерій, що має багато параметрів. Крім того, критерії різних ланок управління різняться і в принципі строго не узгоджуються між собою. Частина критеріїв не піддається однозначній формалізації.

Як при формалізації, так і при евристичному, інтуїтивно-логічному аналізі систем, проблема багатокритеріальності зазвичай є найбільш складною. Такі питання, як зіставляти системи в процесі їх еволюції, як порівнювати елементи систем, – є аж ніяк не тривіальними.

Безпосередня формальна (і не тільки формальна) оцінка за багатьма критеріями (по векторному критерію) можлива тільки в разі явного домінування одного критерію. У всіх інших випадках доводиться шукати спосіб зведення багатьох критеріїв до одного. Ця проблема отримала назву **скаляризації критеріїв**. Методи її подолання – найбільш вразлива частина методології кількісного дослідження складних систем.

Необхідність скаляризації виникає тоді, коли поліпшення одного критерію призводить до погіршення інших, тобто критерії суперечливі: як, наприклад, у відомій двухкритеріальній задачі «ефективність - вартість». В цьому випадку раціональне рішення – завжди певний компроміс між поліпшенням одних критеріїв і погіршенням інших.

Розглянемо найбільш поширені принципи, на яких можуть бути засновані схеми компромісу.

Принцип рівномірності. Відповідно до цього принципу найкращим вважається той варіант рішення, при якому найменше значення з можливих значень критеріїв більше, ніж в інших варіантах рішення. Тут при оптимізації значення критеріїв вирівнюються. Цей принцип застосовується, коли критерії рівноважливі.

Принцип абсолютної поступки передбачає кращим той варіант рішення, при якому сумарний рівень зниження одних критеріїв не вище сумарного рівня підвищення інших в порівнянні з іншими варіантами рішень. Це еквівалентно максимізації суми критеріїв. Цей принцип вимагає нормалізації критеріїв і однакового їх пріоритету. Недоліком такого підходу є можливість отримання різкої різниці в рівнях окремих критеріїв.

Принцип відносної поступки є родинним попередньому. Кращим вважається рішення, при якому сумарний відносний рівень

зниження одних критеріїв не перевищує відносного рівня підвищення решти критеріїв. Формально це еквівалентно пошуку варіанту з найбільшою добутком значень критеріїв, що враховуються. Тут відбувається вирівнювання критеріїв. Передбачається, що критерії равноважливі.

Найбільш поширеним є *принцип виділення головного критерію*. Виділяється головний критерій, оптимізація якого ототожнюється з досягненням основної мети вирішення проблеми за умови, що рівень інших критеріїв не менш допустимого. Нормалізації критеріїв не потрібно.

Не менш поширений *принцип максимізації зваженої суми критеріїв*. Тут кожному критерію ставиться у відповідність спеціальний множник - вага. Ваги грають роль і масштабних коефіцієнтів, і нормуючих множників, і коефіцієнтів, що визначають важливість критеріїв. Скалярний критерій утворюється підсумовуванням помножених на відповідні ваги критеріїв, що враховуються.

Найскладніша в методологічному плані частина завдання скаляризації векторного критерію – *облік пріоритету критеріїв*. В даний час поширені дві схеми обліку - жорстка і гнучка.

У *жорсткій схемі обліку пріоритету* використовується так званий словниковий (лексикографічний) спосіб. Критерії розташовуються в ряд пріоритету, наприклад, по спадаючій важливості, так що критерієм з великим номером в ряду відповідає менша важливість. Проводиться послідовна оптимізація критеріїв, при якій не допускається підвищення рівня менш важливих критеріїв, якщо це знижує рівень більш важливого критерію. Метод застосовується при знаходженні шляхів розв'язання, «близьких» до оптимального.

В *гнучкій схемі обліку пріоритету* впорядкування критеріїв здійснюється завданням або вектора пріоритету, або вагового вектора. Компоненти вектора пріоритету визначають ступінь переваги за важливістю одного критерію в порівнянні з сусіднім в ряду пріоритету. Такі оцінки повинні бути дані для кожної пари

критеріїв. Оцінка характеризує величину найбільшого допустимого зниження значення більш важливого критерію в порівнянні з підвищенням значення менш важливого критерію. ***Ваги критеріїв характеризують частку вкладу кожного критерію в загальну якість.*** Вони не негативні і в сумі становлять одиницю. Завдання обґрунтування ваг критеріїв, за своєю суттю складніше, ніж обґрунтування компонентів вектора пріоритету. Це визначається тим, що для останнього досить проводити, наприклад, парне порівняння критеріїв, а для завдання ваг аналізувати всю сукупність критеріїв.

У всіх згаданих схемах істотна роль відводиться самому досліднику або особі, що приймає рішення. Саме він обґрунтовує вагові коефіцієнти або визначає пріоритет критеріїв.

З математичних позицій застосування перелічених методів скаляризації векторних критеріїв при вимірюванні ефективності та порівнянні якості функціонування соціально-економічних об'єктів некоректне з точки зору основних принципів системних досліджень.

По-перше, ці методи передбачають аддитивність оцінок, так як засновані на відображенні оцінок елементів в оцінку системи через деяку, найчастіше лінійну форму, коефіцієнти якої визначаються типом обраного компромісу.

По-друге, передбачається транзитивність оцінок, як для елементів, так і для системи в цілому.

Обидва ці припущення грубо спотворюють справжню картину відносин в складній системі, так як неаддитивність і нетранзитивність показників функціонування елементів, підсистем і системи в цілому є визначальними системними властивостями, що складають важливу сторону їх сутності.

Неспроможність подібних підходів в якості наукового інструментарію дослідження систем очевидна. Однак використання їх як апарату оперативної оцінки стану керованого системного об'єкта для вироблення рішень в обмежений час може бути цілком виправданим за умови, що основні нормативні показники, що застосовуються в подібних методиках, визначені в ході спеціальних досліджень на моделях системи, і знайдений коректний і

обґрунтований діапазон їх застосування, в якому спотворення не перевищують допустимі.

ТЕМА 3. Системи управління

Як було сказано в попередньому розділі, вирішення проблеми, що виникла в системі, має на увазі вироблення на цю систему управлінських впливів, реалізація яких здійснюється органами управління (керуючою системою). Завдання *управляючої системи* полягає в перетворенні зовнішнього впливу на керовану систему – *об'єкт управління* в керуючий вплив таким чином, щоб управління об'єктом відбувалося по заданим (бажаним) цілям, критеріям і обмеженням. *Управління* – процес цілеспрямованої поведінки системи здійснюється за допомогою інформаційних впливів, що виробляються суб'єктом (людиною або групою людей) або пристроєм.

Завдання управління:

- цілепокладання – визначення необхідного стану або поведінки системи;
- стабілізація – утримання системи в існуючому стані в умовах збурюючих впливів;
- виконання програми – переклад системи в потрібний стан в умовах, коли значення керованих величин змінюються по детермінованим законам;
- стеження – утримання системи на заданій траєкторії (забезпечення необхідного поведіння), коли закони зміни керованих величин невідомі або змінюються;
- оптимізація – утримання або переведення системи в стан з екстремальними значеннями характеристик при заданих умовах і обмеженнях.

Систему з керуванням, що містить керуючу, керовану і інформаційну системи можна розглядати як єдину систему – *систему управління*, а керуючу (суб'єкта або органу управління), керовану (об'єкта управління) і інформаційну (що забезпечує зв'язок між двома першими підсистемами інформаційними потоками) системи як її підсистеми.

Основними групами функцій системи управління є:

- функції прийняття рішень – функції перетворення змісту інформації (створення нової інформації);
- рутинні функції обробки інформації;
- функції обміну інформацією.

Досліджувані, створювані і проєктовані в даний час системи управління (і в першу чергу економічними об'єктами) характеризуються винятковою складністю. Складність системи визначається великим числом елементів і виконуваних ними функцій, високим ступенем взаємодії елементів, складністю алгоритмів вибору тих чи інших дій, що управляють, і великими обсягами інформації, що переробляється при цьому.

Одними з основних рис систем управління, наприклад, економічними об'єктами вважаються ієрархічність і складні структурні і функціональні взаємини між елементами системи. Тому розробка систем управління такими об'єктами вимагає детального аналізу і синтезу системи управління, що конструюється.

3.1. Аналіз систем управління.

Під аналізом систем управління (СУ) розуміється процес дослідження системи управління, заснований на її декомпозиції з подальшим визначенням статичних і динамічних характеристик складових елементів, що розглядаються у взаємозв'язку з іншими елементами системи і навколишнім середовищем.

Цілі аналізу системи управління:

- детальне вивчення системи управління для більш ефективного використання та прийняття рішення щодо її подальшого вдосконалення або заміни;
- дослідження альтернативних варіантів новостворюваної системи управління з метою вибору найкращого варіанту.

До завдань аналізу системи управління відносяться:

- визначення об'єкта аналізу;
- структурування системи;
- визначення функціональних особливостей системи;
- дослідження інформаційних характеристик системи;

- визначення кількісних і якісних показників системи;
- оцінка ефективності;
- узагальнення та оформлення результатів аналізу.

Коротко розглянемо зміст рішень перерахованих вище завдань аналізу систем управління.

Визначення об'єкта аналізу. При вирішенні цього завдання потрібно виконати наступні дії:

- виділити систему управління, що аналізується;
- визначити цілі і завдання управління;
- провести первинну декомпозицію системи з виділенням керуючої підсистеми (органів управління), об'єктів управління і навколишнього середовища.

Дослідник може обрати один із двох напрямків аналізу: перше - визначення стану системи управління, щоб позначити зони, що вимагають поліпшення, і стимулювання змін; друге – дослідження альтернативних варіантів новостворюваної системи з метою вибору кращого варіанту.

При необхідності виділяються підсистеми і фактори навколишнього середовища, які надають позитивний (забезпечуючі підсистеми) і негативний (конкурент, противник, кліматичні, територіальні та інші умови) вплив на функціонування системи.

Встановлюються види та форми впливів керуючої підсистеми і реакцій об'єктів управління, а також впливів навколишнього середовища. Визначаються основні вимоги, що пред'являються до системи, і формулюється загальний алгоритм функціонування.

Структурування системи. Залежно від завдання дослідження в поняття структури системи управління включаються різні питання. Так, в автоматизованій системі управління галуззю під структурою розуміється визначення безлічі вузлів системи і зв'язків між ними, розподіл завдань, покладених на технічні засоби АСУ, за рівнями і вузлами системи і вибір комплексу технічних засобів, що забезпечують їх ефективне рішення. Під структурою управління технологічними процесами в АСУ розуміється схема, що задає, по-перше, розподіл технологічних процесів комплексу по підсистемах

різних рівнів, з підпорядкуванням підсистем даного рівня підсистемам вищого рівня; по-друге, розподіл функцій управління і відповідних їм алгоритмів по підсистемах. Розподіл першого виду є виробнича структура комплексу, розподіл другого роду – функціональна структура керуючого органу. Обидва аспекти взаємопов'язані і обґрунтування структури передбачає їх розробку з урахуванням цих взаємозв'язків.

Під структурою виробничої організації розуміється стійкий просторово-часовий розподіл господарських рішень і ресурсів, які забезпечують їх реалізацію, з відповідними взаємозв'язками.

Під структурою організаційної системи мається на увазі форма розподілу завдань і повноважень щодо прийняття рішень між особами або групами осіб (структурними підрозділами), складаючими організаційну систему (організацію), спрямовану на досягнення поставлених перед нею цілей.

Метою структурування є детальне вивчення системи управління, встановлення зв'язків і відносин між її елементами.

Різні варіанти структур аналізованої системи дозволяють визначити характеристики і окремі недоліки виділених елементів і зв'язків між ними і намітити шляхи їх усунення.

Отже, під завданням аналізу структури розуміється визначення основних характеристик системи при деякій обраній (фіксованій) структурі.

Основні характеристики структури системи можуть бути розбиті на дві групи. До першої відносяться характеристики, пов'язані з ієрархічністю систем: число підсистем даної системи, характер взаємозв'язків між рівнями (підсистемами), ступінь централізації і децентралізації в управлінні, ознаки розбиття системи на підсистеми. До другої – ефективність (в широкому сенсі) функціонування системи тієї чи іншої структури: ефективність (вартісна), надійність, живучість, швидкодія і пропускна здатність, здатність до перебудови та ін.

Визначення функціональних особливостей системи. Завдання визначення функціональних особливостей системи жорстко пов'язане

з завданням структурування. З урахуванням структурування визначаються перелік приватних завдань і функції кожного елемента системи, порядок їх взаємодії, необхідні вхідні і вихідні дані.

Дослідження інформаційних характеристик системи. Інформація служить цілезадаючою, об'єднуючою, координуючою умовою, що здійснює інформаційну та інтелектуальну підтримку вироблення рішення.

У процесі дослідження інформаційних характеристик визначаються:

- сутність і якість інформації, що використовуються для вироблення управляючих впливів;
- достатність інформації для вироблення управляючих впливів;
- сумарні обсяги інформації, що надходить і виходить, в одиницю часу в цілому по системі і окремо по основним елементам;
- обсяг інформації, яка постійно зберігається в системі;
- поодинокі обсяги переданої інформації;
- способи передачі або доставки інформації;
- основні напрямки інформаційних потоків та ін.

Визначення кількісних і якісних показників системи. Після з'ясування поставленого завдання, визначення об'єкта аналізу і складання його багаторівневого опису виробляються:

- попередній вибір переліку показників кожного рівня;
- розробка моделей і методів визначення показників різних рівнів;
- уточнення умов визначення показників, що включають передбачувані дії надсистеми, можливість інтегрування з іншими системами управління і наявність дублюючих систем.

В результаті рішення даної задачі:

- систематизуються якісні і кількісні показники структур, процесів функціонування та інформації;
- визначаються узагальнені показники, що характеризують зовнішні властивості аналізованої системи і її окремих елементів.

Задача документального узагальнення і оформлення результатів аналізу включає:

- короткий опис структури, процесів функціонування та інформаційних потоків системи;
- узагальнене значення показників і результатів оцінки ефективності системи (наводяться значення показників);
- узагальнені виявлені недоліки і попередні рекомендації щодо подальшого використання системи, вдосконалення або її заміни.

Оцінка ефективності. Дане завдання вирішується з метою визначення досягнутих в процесі функціонування системи управління результатів і витрачених на досягнення цих результатів матеріальних і часових ресурсів.

Треба відзначити, що поняття показника, що оцінює функціонування системи, використовується в двох сенсах. По-перше, це показники, що вимірюють ті чи інші результати реального (або імітаційного) функціонування системи. Це експериментальні показники функціонування. Інший варіант – це теоретичні оцінки можливих значень експериментально визначених показників – теоретичні показники функціонування. Значення теоретичних і експериментальних показників функціонування можуть не збігатися. Розбіжність може бути обумовлена недосконалістю ("грубістю") методу побудови теоретичних оцінок, недостатньою поінформованістю особи, що дає відповідні теоретичні оцінки, можливістю кількох варіантів перебігу процесу функціонування та ін. Точність теоретичних оцінок являє собою "міру відповідності" теоретично побудованих оцінок їх експериментальним значенням.

Узагальнення та оформлення результатів аналізу. Завдання документального узагальнення і оформлення результатів аналізу включає:

- короткий опис структури, процесів функціонування та інформаційних потоків системи;
- узагальнене значення показників і результатів оцінки ефективності системи (наводяться значення показників);

- узагальнені виявлені недоліки і попередні рекомендації щодо подальшого використання системи, вдосконалення або її заміни.

3.2. Синтез систем управління.

На відміну від аналізу дослідження заданої системи управління, під *синтезом* розуміється процес створення нової системи шляхом визначення її раціональних або оптимальних властивостей і відповідних показників. Синтез систем управління здійснюється шляхом узгодження статичних і динамічних характеристик системи, що забезпечують в сукупності максимальну ступінь відповідності системи поставленим завданням.

Цілі синтезу системи управління включають наступні вихідні стани:

- створення нової системи управління на основі нових досягнень науки і техніки;
- вдосконалення існуючої системи управління на основі виявлених недоліків, а також появи нових завдань і вимог.

Перший стан має місце в наступних випадках:

- при впровадженні нових суспільних систем управління, що забезпечують розв'язання суперечності між старими неефективними принципами і методами управління і сучасними політичними, економічними і соціальними умовами їх функціонування;
- в процесі повної модернізації технічних засобів ергатичних (автоматизованих) систем управління при впровадженні нової елементної бази, мережових структур і сучасного математичного, програмного, лінгвістичного та інформаційного забезпечення, істотно підвищуючих ефективність управління;
- при створенні систем автоматичного управління і регулювання, що мають нові принципи побудови та критерії досягнення поставлених цілей.

Другий стан має місце в наступних випадках:

- вдосконалення окремих органів і методів вирішення завдань в громадських системах управління;
- внесення деяких змін до видів забезпечення ергатичних

систем;

- доробка систем автоматичного управління.

У загальному вигляді завдання синтезу систем управління полягають у визначенні структури і параметрів системи виходячи із заданих вимог до значень показників ефективності її функціонування, а також способів забезпечення цілей функціонування системи.

Синтез, або *структурний синтез*, є центральною ланкою створення системи управління. Він включає наступні компоненти.

1. *Синтез структури керованої системи*, тобто визначення оптимального складу і взаємозв'язків елементів системи, оптимальна розбивка безлічі керованих об'єктів на окремі підмножини, що володіють заданими характеристиками зв'язків.

2. *Синтез структури керуючої системи*:

- а) вибір числа рівнів і підсистем (ієрархії системи);
- б) вибір принципів організації управління, тобто встановлення між рівнями правильних взаємин (це пов'язано з узгодженням цілей підсистем різних рівнів і оптимальним стимулюванням їх роботи, розподілом прав і відповідальності, створенням контурів прийняття рішень);
- в) оптимальний розподіл виконуваних функцій між людьми і засобами обчислювальної техніки;
- г) вибір організаційної ієрархії.

3. *Синтез структури системи передачі та обробки інформації*.

В тому числі:

- а) синтез структури системи передачі та обробки інформації;
- б) синтез структури інформаційно-керуючого комплексу (в тому числі розміщення пунктів обслуговування).

Сутністю структурного синтезу є розробка (створення, проектування, вдосконалення, реорганізація та організація) системи, яка повинна володіти бажаними властивостями. Структурний синтез проводиться з метою обґрунтування безлічі елементів структури, відносин і зв'язків, що забезпечують в сукупності максимальну відповідність заданим вимогам. Об'єктами дослідження структурного

синтезу є різні варіанти розробляються (вдосконалюваних) структур системи управління.

Синтез являє собою багатокроковий ітеративний процес, що включає послідовне вирішення таких основних завдань:

- формування задуму і цілі створення системи управління;
- формування варіантів нової системи;
- приведення описів варіантів системи у взаємне відповідність;
- оцінка ефективності варіантів і прийняття рішення про вибір варіанта нової системи;
- розробка вимог до системи управління;
- розробка програм реалізації вимог до системи управління;
- реалізація розроблених вимог до системи управління.

Розглянемо зміст рішень перерахованих вище завдань синтезу систем управління.

3.2.1. Формування задуму і цілі створення системи управління.

Задум виникає на підставі отриманого завдання, виділення недоліків існуючої системи управління, появи практичної потреби або нових наукових досягнень.

Формування задуму починається з історичного аналізу проблеми, практичних можливостей, наукового досягнення, потреби, аналізу подібних систем, ситуації, що склалася, чужих думок і всіх супутніх чинників. Це - творчий етап, слабоструктуризоване і слабоформалізуемий.

Результатами виконання завдання формування задуму і цілі створення системи повинні бути:

- визначення призначення системи управління;
- визначення мети (цільової функції);
- визначення завдань системи;
- формулювання основної ідеї створення системи;
- визначення напрямків розробки системи.

3.2.2 Формування варіантів нової системи управління.

Варіанти системи формуються на основі аналізу загальної мети створення системи, вивчення суспільних потреб, передбачуваного

обсягу задоволення цих потреб, вивчення стану та перспектив розвитку аналогічних вітчизняних і зарубіжних систем.

Процес формування кожного варіанта нової системи може бути описаний концептуальною і математичною моделлю.

Розглянемо порядок побудови концептуальної моделі варіанту нової системи управління. При побудові концептуальної моделі можна виділити кілька етапів. На першому етапі визначається рівень деталізації концептуальної моделі варіанту системи. Модель системи являє собою сукупність підсистем (елементів). У цю сукупність входять всі підсистеми (елементи), що забезпечують збереження цілісності системи. Виняток ж будь-яких елементів не повинно призводити до втрати основних властивостей системи при виконанні призначених їй функцій.

У свою чергу, кожна підсистема складається із сукупності елементів, які теж можуть бути розчленовані на елементи. Таким чином, проблема вибору рівня деталізації може бути вирішена шляхом побудови ієрархічної послідовності моделей, де система представляється сімейством моделей, кожна з яких відображає її поведінку на різних рівнях деталізації. На кожному рівні, безумовно, існують характерні особливості системи, принципи та залежності, що визначають її поведінку.

Вибір рівня деталізації залежить від цілей моделювання та ступеня попереднього знання властивостей елементів. Зазвичай в модель включають елементи одного рівня деталізації, але може виникнути необхідність в побудові моделі з елементів різних рівнів.

На *другому етапі* побудови концептуальної моделі здійснюється її локалізація (встановлення меж взаємодії зі зверхсистемою) шляхом подання зовнішнього середовища у вигляді генераторів зовнішніх впливів, причому ці генератори включаються до складу системи в якості її елементів. Приймачі ж впливу системи на середовище і (або) іншу систему в модель зазвичай не включаються, вважаючи при цьому, що результати функціонування системи зовнішнє середовище (інша система) приймає повністю і без затримок (Рис. 4).

На *третьому етапі* завершується побудова структури моделі із зазначенням зв'язків між її складовими елементами. Зв'язки можуть бути розділені на речові та інформаційні.

У системах управління інформаційні зв'язки мають першорядне значення. Причому, перш за все, слід виділити функціонально необхідні внутрішні зв'язки, які обумовлюють цілісність моделі і забезпечують її адекватність системі.

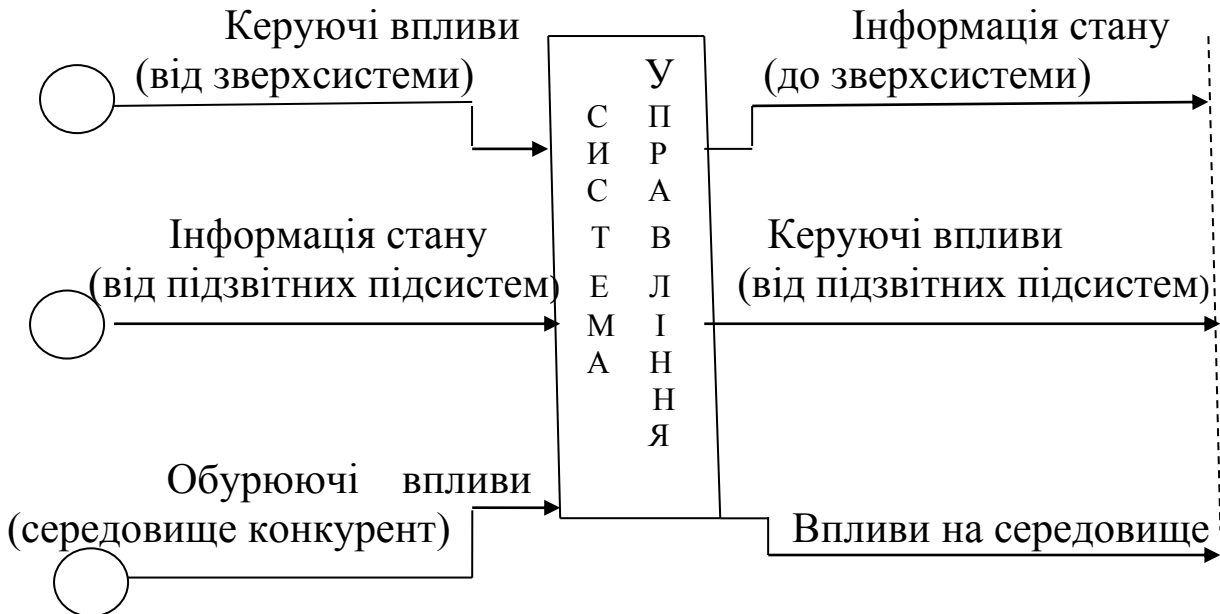


Рис. 4. Локалізована система

Кожен варіант системи включає різні види описів: структурний (морфологічний), функціональний, інформаційний та параметричний.

Структурний опис включає опис структури і видів забезпечення системи управління, призначення, складу і розміщення її елементів.

Функціональний опис включає завдання, що вирішуються системою, і порядок функціонування системи.

Інформаційний опис включає опис вхідної та вихідної інформації, потоків інформації, що циркулює в системі, способів подання і передачі.

Параметричний опис включає перелік кількісних показників (параметрів), що характеризують окремі властивості системи, які необхідно забезпечити в процесі її створення.

Вимоги до показників у вигляді різних обмежень формуються в процесі оцінки ефективності кожного досліджуваного варіанту системи і уточнюються при її розробці.

На *четвертому етапі* визначаються керовані характеристики, тобто в модель повинні увійти ті параметри (показники) системи, що допускають варіювання своїх значень в процесі моделювання, які забезпечать знаходження моделей, що цікавлять розробника, характеристик при конкретних зовнішніх впливах на заданому часовому інтервалі функціонування системи. Інші параметри необхідно, по можливості, виключити з моделі, природно, без шкоди для її адекватності, а при необхідності ввести їх в обмеження. Бажано, щоб в концептуальній моделі були конкретизовані всі вирішальні правила або алгоритми управління елементами і (або) процесами моделі, які відображають статику системи.

На *п'ятому етапі* описується динаміка системи. Отриману раніше модель необхідно доповнити описом функціонування системи. Слід зазначити, що в складних системах часто протікає кілька процесів одночасно. Кожен процес являє собою певну послідовність окремих елементарних операцій, частина яких може виконуватися паралельно різними елементами (ресурсами) системи.

3.2.3. Приведення описів варіантів системи управління у взаємну відповідність.

Приведення описів варіанти системи у взаємну відповідність включає.

- зіставлення описів (структурного, функціонального, інформаційного, параметричного);
- усунення протиріч;
- об'єднання названих описів.

Зіставлення описів.

Виконання вимог інформаційного опису забезпечується морфологічно (структурно) і функціонально. Спочатку вирішується питання про сумісність інформаційного опису. Функціональний опис може бути недостатнім для охоплення блоків або процесів структурного опису і тоді його потрібно доповнити (зокрема, шляхом

проведення нових досліджень). Всі блоки структурного опису повинні бути охоплені функціональним описом, містити способи і формули для обчислення всіх вихідних і проміжних параметрів. Далі потрібно з'ясувати, якою мірою інформаційний опис забезпечений функціонально і морфологічно. Частина результатів, які можна розглядати як вимоги, виявляться такими, що не реалізуються морфологічно, або вимагатимуть розробки нових елементів (підсистем). На підставі морфологічного і функціонального опису обчислюються (без вимоги сумісності) маючі найтісніший контакт з досяжними параметри, що входять в параметричний опис. Тут може бути два випадки: 1) вимоги до значень параметрів недосяжні; 2) вимоги до значень параметрів досяжні порізно, але несумісні. У першому випадку необхідні висування ідей, перебудова морфології або функціональних можливостей, у другому – конструктивна перебудова.

Усунення протиріч.

Висування ідей або асоціативний пошук для ефективною заміни елементів морфологічного опису проводиться на підставі функціональних властивостей системи. Для цього необхідно виявити корінне протиріччя, що перешкоджає досягненню позитивного результату. Функціональна недостатність є вихідним поштовхом для виявлення корінного протиріччя. Виявлення сутності протиріччя вимагає аналізу морфологічних та інформаційних властивостей системи. Усунення протиріччя шляхом компромісу, щоб загальне їх поєднання було задовільним, рідко буває перспективним. Розширення діапазону застосування може призводити до непримиренного протиріччя. У цьому випадку потрібні нові ідеї, тобто включення в систему підсистем або елементів з принципово новими властивостями, радикальна перебудова структури і зв'язків, створення нових процесів і т. д.

Об'єднання описів.

Складання єдиного опису, що охоплює морфологічні, функціональні, інформаційні властивості і параметри в повному обсязі.

Оцінка ефективності варіантів і прийняття рішення про вибір варіанта нової системи.

Рішення даного завдання включає:

- визначення значень обраних показників ефективності кожного досліджуваного варіанту створюваної системи;
- порівняльну оцінку ефективності, яка проводиться відповідно до заданого правила переваги і встановленим критерієм;
- прийняття рішення про вибір найкращого варіанту системи.

Після вибору остаточного варіанту системи уточнюється критерій ефективності системи, формується вихідний варіант значень показників системи управління і проводиться повторний синтез системи, який набуває щораз більшої визначеності.

3.2.4. Розробка вимог та програм реалізації вимог до системи управління.

Для штучних систем організаційного або ергатичного (людино-машинного) типу чітко сформулювати мету дуже складно. Мета виробляється у вигляді кількісно-якісних вимог до істотних властивостей системи, що визначає ситуацію або область ситуації в n -вимірному просторі, яка повинна бути досягнута при функціонуванні системи (величина n обумовлюється кількістю виділених істотних властивостей об'єкта).

Вимоги формуються у вигляді показників (кількісні) і характеристик (якісні). Як правило, вимоги задаються у вигляді обмеження на допустимі межі значень показників.

Розробка вимог проводиться в процесі вирішення всіх перерахованих вище завдань. Загальні вимоги до системи управління документально оформлюються, а потім уточнюються окремі вимоги до її елементів, включаючи елементи, що виділяються при морфологічному (структурному), функціональному, інформаційному і параметричному описах системи.

Зазвичай програма або план реалізації вимог включає:

- перелік цілей і задач (завдань) виконавцям (відповідальним за створення системи управління), розгорнутих у часі,

взаємопов'язаних по відношенню до загальної мети створення нової системи і збалансованих за ресурсами і відношенню до загальної мети створення нової системи;

- графік (порядок) забезпечення виконавців ресурсами (інформаційними, матеріальними, енергетичними та ін.).

Збалансованість по ресурсах означає, що немає завдань, які не забезпечені ресурсами, і що обмежені ресурси раціонально розподілені між усіма виконавцями.

3.2.5. Реалізація розроблених вимог до системи управління.

Метою завдання є реалізація розроблених вимог до системи управління в задані терміни, відповідно до розробленої програми. Процес безпосереднього створення нової системи управління дуже складний.

Розглянемо умовні етапи реалізації розроблених вимог до людино-машинної (ергатичної) системи управління:

- моделювання (математичне, фізичне, сценарне) підсистем та системи в цілому;
- макетування системи;
- проектування системи;
- конструювання системи;
- виготовлення системи;
- випробування системи;
- оцінка шляхів модернізації;
- повернення до аналізу задуму створення системи та перспектив його розвитку в зв'язку зі створенням нової системи.

Коротко охарактеризуємо ці етапи.

Моделювання підсистем і системи в цілому. На цьому етапі концептуальний опис системи реалізується за допомогою математичної моделі.

Метою моделювання є перевірка різних аспектів функціонування системи, її стійкість по відношенню до зовнішніх чинників і оцінка ефективності (за функціональним і фізичним критеріями) її функціонування в різних умовах роботи. Відпрацювання моделі включає створення всього оцінного апарату.

Моделювання дозволяє підвищити ефективність системи (за фізичним критерієм) шляхом додаткової зміни її морфології і функціональних властивостей. На підставі результатів моделювання робиться висновок про перехід до наступного етапу розробки або уточнення вимог.

Макетування системи. Головне завдання макетування полягає у відпрацюванні пристроїв, заснованих на нових ідеях.

Розрізняють повне і часткове макетування. Часткове макетування застосовується в тих випадках, коли основні підсистеми ясні і потрібно уточнити окремі блоки. Результати часткового макетування використовуються для повторного моделювання системи і додаткового її відпрацювання на підставі нових даних. Повне макетування основних і допоміжних підсистем застосовується при розробці нових систем.

Етап макетування є вирішальним і завершальним для творчої частини розробки, а далі починається технологічна частина.

Проектування системи. Завдання проектування – охопити всю систему, а також засоби і методи, необхідні для її створення і забезпечення.

У проекті не повинно бути сумнівних питань: проектування повинно спиратися на повну інформацію і вирішувати тільки інженерні (в широкому сенсі) завдання.

Конструювання системи. Конструкція визначає просторово-тимчасове розташування елементів системи, їх поєднання, з'єднання і стикування.

Завданням конструювання є розробка технології виготовлення системи або вказівка на можливість використання готової технології.

Опис конструкції повинен бути розвинений до рівня, доступного і зрозумілого особам, які не брали участі в розробці системи і незнайомим з вихідними ідеями.

Виготовлення системи. Під виготовленням нової системи розуміються поелементне і поблочне (підсистемне) відпрацювання, а також створення процесу і організації.

Технологія і практика виготовлення системи накладають свій відбиток на елементи системи і її властивості в цілому.

Для нових систем можливі випадки, коли виготовлення підсистем з необхідними параметрами (підготовка процесу, підбір персоналу, відпрацювання злагодженості груп) виявляється непосильним завданням, і тоді неминуча відповідна додаткова робота (удосконалення виробництва, навчання персоналу, зміна умов) або повернення до одного з вихідних етапів.

Випробування системи. Випробування включає натурну і модельну частини з жорстким зв'язком між ними. Для складних систем натурні випробування можуть скласти (з огляду на їх дорожнечу, складність та тривалість) до 10% всієї роботи. Випробування проводяться на підставі фізичного критерію ефективності. Планування експериментів передбачає комплексний підхід і послідовний аналіз результатів з тим, щоб результати попередніх експериментів в повному обсязі враховувалися в наступних.

На випробуваннях відпрацьовується спосіб застосування системи і підвищення максимально допустимого значення її ефективності (за фізичним критерієм). Випробування визначають відповідності системи своєму призначенню і цільової функції – за функціональним критерієм, який обчислюється за результатами випробувань.

Перспективи подальшого розвитку системи оцінюються на підставі зіставлення фізичного і функціонального критеріїв з точки зору можливостей і шляхів їх подальшого збільшення.

Оцінка шляхів модернізації. Науково-технічний прогрес створив нову ситуацію в світі вибору альтернатив створення нових систем, яка обумовлена наступними обставинами:

- життєвий цикл створеної людиною системи (техніки, зброї) став набагато менше життя людини;
- скорочення життєвого циклу створеної людиною системи супроводжується зростанням повного циклу створення системи;
- наявність проблеми вкладення коштів і ресурсів.

Виріс масштаб створюваних людиною систем. Деякі з них, наприклад, енергетичні, транспортні, інформаційні, стали глобальними. З ростом складності і масштабу створення нової системи зросли витрати на їх реалізацію. Ризик при виборі варіанту створення нової системи стає все відчутнішим.

Основою продовження життєвого циклу системи є її своєчасна і неодноразова модернізація, ідеї якої закладаються на етапі створення системи.

Отже, для додання системі якої-небудь властивості треба будувати її підсистему, взаємопов'язану з усіма іншими підсистемами, генеральною метою якої буде ефективний прояв цієї властивості і, природно, забезпечення її прояви.

Істотність (значимість) будь-якої властивості системи буде залежати в першу чергу від значимості підсистеми, що проявляє цю властивість і забезпечує цей прояв.

Ще більш складним є встановлення відносин між властивостями і процесами. Виявлення сукупності цих відносин, встановлення взаємозв'язків властивостей системи і процесів, їх показників є найважливішим завданням дослідження систем управління.

Виділення істотних властивостей процесів і систем – в основному процес творчий, він носить неформальний характер і багато в чому залежить від кваліфікації дослідника, його досвіду і інтуїції. Частина властивостей визначається дослідником при виробленні вимог, так як останні ставляться до значень показників істотних властивостей системи або процесу.

Визначення (оцінка) значень показників істотних властивостей проводиться, як правило, двома способами: "прямими вимірами" на системі і з використанням моделі її функціонування.

Важливим моментом є формування правил визначення факту і величини невідповідності між значеннями показників істотних властивостей процесу і системи і необхідними їх значеннями.

3.3. Основні види і рівні аналізу і синтезу систем управління.

Виділяють наступні види аналізу і синтезу систем керування: структурний аналіз і синтез систем управління; функціональний

аналіз і синтез систем управління; інформаційний аналіз і синтез систем управління; параметричний аналіз і синтез систем управління.

3.3.1. Структурний аналіз і синтез систем управління.

Перш ніж розкрити сутність структурного аналізу і синтезу, необхідно ще раз повернутися до поняття "структура".

Структура - це внутрішня організація системи, яка сприяє зв'язку складових елементів системи. Вона визначає існування системи як цілого і її якісні особливості. Структура визначає впорядкованість елементів системи. Таким чином, структура – це відносно стійкий, упорядкований спосіб зв'язку елементів, що надає їх взаємодії в рамках внутрішньо розчленованого об'єкта цілісний характер.

Сутністю структурного аналізу є визначення статичних характеристик системи по її структурі.

Структурний аналіз проводиться з метою дослідження статичних характеристик системи шляхом виділення в ній підсистем і елементів різного рівня і зв'язків між ними.

Об'єктами дослідження структурного аналізу є різні варіанти структур системи управління, які формуються в процесі її декомпозиції.

Як показники досліджуваних структур доцільно використовувати:

- множину виділених елементів, відносин і зв'язків;
- характеристики елементів і зв'язків;
- узагальнені показники структур, що характеризують їх вплив на ефективність системи управління (число рівнів управління, структурна стійкість, економічні витрати на підтримку необхідних структурних характеристик та ін.).

При виборі та оцінці показників структури застосовуються різні методи опису і моделювання, які залежать від виду структури, ступеня невизначеності вихідних даних і вимог, що пред'являються до точності і достовірності результатів аналізу. Процедура визначення показників структури включає наступні етапи:

- визначення вихідних даних для оцінки структури;

- обчислення значень характеристик елементів структури і зв'язків між ними;
- обчислення значень характеристик (показників ефективності) структури.

Дослідження моделей і оцінка структури проводяться на підставі конкретних числових значень.

На підставі оцінки структури проводиться вибір варіанта структури або ж пропозиції щодо її вдосконалення.

Сутністю структурного синтезу є розробка (створення, проектування, вдосконалення, реорганізація та організація системи), яка повинна володіти бажаними властивостями.

Структурний синтез проводиться з метою обґрунтування множини елементів структури, відносин і зв'язків, що забезпечують в сукупності максимальну відповідність заданим вимогам.

Об'єктами дослідження структурного синтезу є різні варіанти розроблюваних (вдосконалюваних) структур системи управління.

До основних узагальнених показників досліджуваних структур відносяться:

- число керованих об'єктів;
- час і достовірність доведення інформації до керованих об'єктів;
- ймовірність реалізації повного циклу управління з використанням синтезованої структури;
- життєздатність структури;
- сумарна вартість структури та ін.

У процесі структурного синтезу визначаються безліч елементів структури, відносини і зв'язки між ними, характеристики елементів і зв'язків, що забезпечують оптимальні або раціональні значення узагальнених показників, відповідно до обраних критеріїв ефективності. Критерій ефективності вибирається з урахуванням вимог, що пред'являються до системи управління.

3.3.2. Функціональний аналіз і синтез систем управління.

Функціональний аналіз системи управління здійснюється одночасно з дослідженням структури системи управління.

Сутністю функціонального аналізу є визначення динамічних характеристик систем на підставі прийнятих алгоритмів її функціонування.

Функціональний аналіз проводиться з метою визначення динамічних характеристик системи шляхом дослідження процесів зміни її станів з плином часу на основі прийнятих алгоритмів (способів, методів, принципів, концепцій) управління. Можна сказати, що функціональний аналіз спрямований на детальне дослідження процесів управління.

Об'єктами дослідження функціонального аналізу є реалізовані системою методи і алгоритми управління, включаючи загальний алгоритм функціонування, що містить всі основні етапи (фази, функції) управління, і деякі методи і алгоритми, спрямовані на виконання окремих етапів управління (формування мети управління, збір і обробка необхідної інформації, прийняття рішень, планування, організація, контроль, виконання рішень та ін.).

Функціональний аналіз може включати наступні основні етапи:

- визначення і опис загального процесу управління, що реалізується досліджуваною системою;
- декомпозиція загального процесу управління на ряд часткових функцій (завдань, операцій), виконуваних елементами системи управління;
- визначення якісних і кількісних характеристик досліджуваних процесів і функцій управління;
- формування критеріїв і оцінка ефективності функціонування системи управління;
- прийняття рішення про необхідність вдосконалення функціональних характеристик системи управління.

Зупинимося коротко на вмісті зазначених етапів.

Визначення та опис загального процесу управління, що реалізується досліджуваною системою, включає:

- формування або уточнення мети управління. Якщо перед системою управління не поставлена або не сформульована мета, функціональний аналіз не має сенсу;

- формування керуючих впливів. Формування керуючих впливів здійснюється на підставі встановленої мети і включає наступні складові:

- а) отримання інформації про об'єкт управління і навколишньому середовищі;

- б) накопичення, обробку та аналіз інформації;

- в) визначення можливих варіантів дій;

- г) вибір оптимального варіанта дій;

- д) розробку програми (плану, алгоритму) реалізації впливів, яка передбачає послідовність видачі впливів і передбачувані (еталонні) стани і реакції об'єкта на ці впливи;

- *реалізацію впливів.* Реалізація впливів включає два основних етапи:

- а) передачу впливів об'єкту управління за наявними прямими зв'язками (матеріальним, енергетичним, інформаційним);

- б) відпрацювання дій об'єктом управління, в ході якого здійснюється його перехід в новий стан і формування відповідних впливів (реакцій), переданих в керуючу систему по зворотним зв'язкам (інформаційним);

- *контроль за результатами реалізації впливів.* Контроль за результатами реалізації впливів включає:

- а) отримання інформації про стан об'єкта після впливу;

- б) обробку цієї інформації і порівняння її з еталонною;

- в) аналіз результатів порівняння і перехід до формування нових дій, що управляють.

Декомпозиція загального процесу управління включає:

- проведення деталізації загальної мети управління на ряд окремих взаємопов'язаних цілей і формування дерева (ієрархії) цілей;

- визначення елементів системи управління, що реалізують сформовані цілі;

- виключення елементів, які не мають мети функціонування;

- виявлення функцій управління (основних і забезпечуючих), які необхідні для ефективної реалізації всіх етапів управління, відповідно до загальної та часткових цілей управління;
- зіставлення відповідності виділених функцій елементів (виконавцям, керівникам, органам, технічним пристроям) аналізованої системи і оцінка їх реалізації;
- виявлення дублюючих, непотрібних, малоефективних функцій і вироблення рекомендацій щодо вдосконалення системи управління.

В ході функціонального аналізу необхідно *визначити якісні та кількісні характеристики досліджуваних процесів і функцій управління* з метою прийняття обґрунтованих рішень про ступінь відповідності системи управління вимогам, що пред'являються і необхідності її подальшого вдосконалення.

Сукупність кількісних і якісних характеристик можна розділити на наступні групи:

- *комплексні характеристики, що дозволяють оцінювати суттєві властивості системи управління:*

а) *Безперервність* процесу управління – відсутність перерв між послідовно виконуваними етапами (фазами) або іншими діями, що приводять до зниження якості управління. Безперервність процесу порушується, якщо між двома послідовно виконуваними етапами виникає незапланована пауза, яка веде до зниження якості виконання наступних етапів аналізу (наприклад, через втрату цінності інформації), несвоєчасного досягнення поставленої мети або зриву всього процесу управління.

б) *Оперативність* процесу управління – завершення циклу управління в необхідні терміни.

в) *Точність* – забезпечення максимальної відповідності реального руху (або кінцевого стану) необхідному (еталонному) руху (або кінцевому стану) об'єкта управління. Ступінь точності залежить від різниці між еталонним і реальним рухом або станом об'єкта управління. При дослідженні процесів управління підприємствами точність можна оцінити за допомогою різниці між прогнозованим і

реальним прибутком, отриманим в результаті управлінської діяльності керівництва даного підприємства.

г) *Стійкість* процесу управління – здатність зберігати і відновлювати свою якість в умовах зовнішніх і внутрішніх збурень.

д) *Скритність* процесу управління – здатність приховати від конкурентів або інших протидіючих систем плановані і виконувані дії. Дана властивість визначає якість процесу управління в конкуруючих (протиборчих) системах, які змушені в силу будь-яких причин приховувати передану або оброблювану інформацію.

е) *Ефективність* – ступінь відповідності реальних (фактичних або очікуваних) результатів процесу управління необхідним або, іншими словами, ступінь досягнення мети управління;

- *структурні характеристики, що дозволяють оцінювати структуру процесу управління, що формується в процесі його декомпозиції.*

Структурні характеристики процесу управління використовуються для оцінки множини аналізованих елементів (функцій, робіт, дій, фаз, етапів та ін.) процесу управління і зв'язків між ними.

До структурних характеристик процесу управління організаційними системами (при їх декомпозиції за рівнями і функціями) можна віднести:

а) число функцій управління кожного рівня і загальне число функцій управління, що реалізуються досліджуваним процесом управління; підпорядкованість (залежність по вхідній і вихідній інформації) функцій управління;

б) число функцій управління, виконання яких залежить від вихідної інформації функцій управління вищого рівня;

в) час реалізації кожної функції управління.

При аналізі структури процесу управління доцільно враховувати наступні характеристики мережових структур організаційних систем: зв'язаність структури, яка визначається кількістю інформаційних зв'язків між виділеними функціями процесу; структурну надмірність,

що визначає перевищення числа зв'язків між функціями процесу над мінімально необхідним.

- *часткові характеристики, що визначають властивості окремих етапів (фаз), функцій, робіт і інших управлінських дій, що розглядаються в якості окремих елементів процесу управління.*

До часткових характеристик процесу управління можна віднести:

- а) кількість інформаційних входів і виходів кожної функції;
- б) число і перелік інформаційних і розрахункових завдань, що вирішуються при реалізації відповідної функції управління;
- в) обсяг вхідної, вихідної і оброблюваної інформації;
- г) середня тривалість або інші ймовірні характеристики термінів вирішення відповідних часткових завдань;
- д) характеристики потоку заявок на виконання відповідних функцій;
- е) перелік і характеристика алгоритмів, машинних програм або пакетів прикладних програм, що використовуються для реалізації функцій.

Оцінка зв'язків між функціями процесу управління може здійснюватися з використанням наступних характеристик: обсягу і змісту інформації, що передається з використанням відповідного зв'язку часу передачі інформації; характеру збурень, які впливають на якість інформації, що передається.

Функціональний синтез, так само як і аналіз, здійснюється одночасно з дослідженням структури системи управління.

Сутністю функціонального синтезу є обґрунтування динамічних характеристик системи управління, які повинні володіти бажаними властивостями.

Метою функціонального синтезу є обґрунтування оптимальних або раціональних характеристик процесів функціонування системи управління, тобто процесів зміни її станів з плином часу відповідно до поставленої мети.

При постановці загальної задачі функціонального синтезу необхідно враховувати критерії ефективності управління.

Для отримання рішень, близьких до оптимальних, необхідно досліджувати процеси функціонування в рамках всіх формованих варіантів структур і, в свою чергу, формувати варіанти структур, що забезпечують ефективну реалізацію обраних алгоритмів.

3.3.3. Інформаційний аналіз і синтез систем управління.

Об'єктом інформаційного аналізу і синтезу є інформаційні процеси, що протікають в системі управління. Зупинимось на їх сутності і змісті, для чого розглянемо комунікаційну (інформаційну) схему передачі інформації в системі управління. Ця схема передачі інформації в системі управління показана на Рис. 5. Як показано, джерелом інформації є об'єкт управління, який посилає по каналу зворотного зв'язку інформацію про свій стан. Приймач інформації, він же керуючий об'єкт, в залежності від кількості та змісту інформації про об'єкт управління, виробляє рішення про вплив на нього. Це рішення у вигляді команд і сигналів управління по каналу прямого зв'язку передається на об'єкт управління. Після виконання команд об'єкт управління посилає на керуючий об'єкт інформацію про зміну свого стану і т. д. Таким чином,

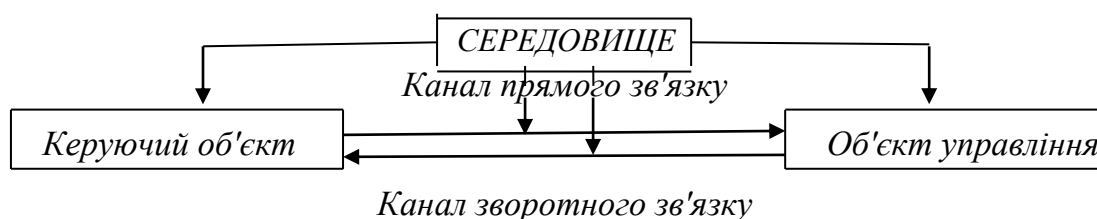


Рис. 5. Комунікаційна схема передачі інформації

В реально функціонуючих системах управління на джерело інформації, приймач інформації і лінію передачі інформації впливає середовище, в якому дана система функціонує, вносячи свої корективи, як в кількість інформації, так і в якість.

Процес управління, як процес вироблення управляючих впливів, є **інформаційним процесом** (ІП).

Інформаційний процес є цілеспрямована сукупність операцій по перетворенню інформації, що реалізуються в певному середовищі, починаючи з моменту її надходження в систему (виникнення), і

закінчуючи видачею користувачеві. Причому поняття "користувач" треба розуміти в широкому сенсі. Користувачем можуть бути: особа, яка приймає рішення, що одержує інформацію в зручному для сприйняття вигляді; технічні пристрої, перетворювачі інформації на магнітній стрічці, диску, в оперативній пам'яті, каналі зв'язку і т.д.; програми, що перетворюють отриману інформацію.

Будь-який інформаційний процес в системі управління структурно можна уявити як деяку сукупність процесів:

- збір, прийом, сприйняття інформації (ці процеси відображають взаємодію системи із зовнішнім середовищем);
- передача інформації між окремими підсистемами системи;
- переробка, аналіз, відбір інформації, створення нової інформації;
- використання інформації;
- зберігання, запам'ятовування інформації;
- передача інформації з системи у зовнішнє середовище.

Керуючі (інформаційні) процеси можна реалізувати на ЕОМ, якщо їх вдається формалізувати. Під формалізацією розуміється опис досліджуваного об'єкта в точних поняттях або твердженнях. Формалізація нерозривно пов'язана з побудовою штучних, або формалізованих, наукових мов. Такі мови створюються для точного вираження думок з метою виключити можливість неоднозначного розуміння. Формалізація дає можливість будувати наукові мови з точно встановленою структурою і заданими правилами перетворення одних виразів в інші. Неодмінною умовою для побудови такої мови є використання аксіоматичного методу, завдяки якому вдається отримати всі твердження теорії з невеликого числа прийнятих без доказу тверджень, або аксіом. Формалізація процесу управління включає виділення управлінських функцій і завдань, розробку алгоритмів формалізації і проведення алгоритмізації. Процес вважають повністю формалізованим, якщо алгоритми до завдань представлені і математично переведені на машинні програми, і при вирішенні завдань вже не потрібно враховувати їх фізичний зміст.

Потреба в знанні фізичного змісту з'являється лише при використанні отриманих результатів.

Сутністю інформаційного аналізу є визначення об'єкта і форм подання інформації, методів і засобів її передачі, обробки, зберігання, введення і виведення для відомої структури і алгоритму функціонування системи управління. Інформаційний аналіз проводиться з метою дослідження кількісних і якісних характеристик інформації, використовуваної в системі управління. Об'єктами дослідження виступають інформаційні процеси, що протікають в системі управління.

Процедура інформаційного аналізу включає:

- визначення потреби в інформації на кожній стадії управління;
- планування потреб в інформації;
- визначення кількісних і якісних характеристик комунікаційних процесів;
- визначення потреби в інформації при оцінці ефективності управлінських рішень (дій).

До показників (характеристик) інформації відносяться:

- обсяг і швидкість передачі інформації;
- достовірність переданих повідомлень;
- напрямки інформаційних потоків;
- характеристики методів обробки інформації і здійснювані при цьому помилки;
- якісний склад інформації;
- кількість оброблюваних або переданих документів;
- сумарна кількість оброблюваних або переданих документів і ін.

На основі результатів інформаційного аналізу виробляються попередні рекомендації по розробці інформаційного забезпечення системи управління, включаючи способи передачі, обробки та подання інформації, склад інформації, необхідної для нормального функціонування системи, структуру інформаційного обміну та ін.

Сутністю інформаційного синтезу є обґрунтування необхідного обсягу і форм подання інформації, методів і засобів її передачі, обробки, зберігання, введення і виведення для розроблюваної структури і алгоритму функціонування системи управління.

Інформаційний синтез доповнює завдання функціонального синтезу і здійснюється з метою визначення необхідних якісних і кількісних характеристик інформації, використовуваної в процесі функціонування системи управління.

В ході інформаційного синтезу проводиться обґрунтування необхідного обсягу і форм подання інформації, методів і засобів її передачі, обробки, зберігання, введення і виведення.

Визначення оптимальних або раціональних характеристик інформації проводиться, як правило, з використанням показників і критеріїв ефективності, які враховують структурні і функціональні особливості системи. При цьому однією з основних проблем інформаційного синтезу є кількісна оцінка впливу даних характеристик на результати функціонування системи управління.

3.3.4. Параметричний аналіз і синтез систем управління.

Параметричний аналіз і синтез узагальнює результати розглянутих вище видів аналізу та синтезу і виконується для оцінки ефективності системи управління на основі визначення кількісних значень її показників.

Сутністю параметричного аналізу є визначення необхідної і достатньої сукупності кількісних значень показників, що характеризують всі досліджувані властивості системи і формування залежностей, що характеризують сумарний ефект від застосування системи або її елементів.

Мета параметричного аналізу – оцінка ефективності системи управління на основі визначення кількісних значень її показників.

Об'єкти дослідження параметричного аналізу – це часткові та узагальнені показники системи, що утворюють ієрархічну структуру.

За допомогою показників верхнього рівня визначають зовнішні властивості аналізованої системи і оцінюють її вплив на ефективність вирішення завдань системою більш високого рівня.

Показники нижнього рівня - частинні показники (параметри) системи, які характеризують її структуру, процеси функціонування, інформаційні потоки або інші властивості.

При проведенні параметричного аналізу конкретної системи управління необхідно вирішити два основні завдання:

- визначити якісні та кількісні характеристики (показники) системи, ступінь деталізації яких задовольняє дослідника;
- виявити наявні недоліки аналізованої системи і прийняти рішення про її подальше використання.

На підставі результатів параметричного аналізу робиться висновок про доцільність використання існуючої системи, і визначаються основні напрямки її вдосконалення, що забезпечують поліпшення тих показників, які надають максимальний вплив на ефективність управління.

Сутністю параметричного синтезу є обґрунтування необхідної і достатньої сукупності кількісних значень показників, що дозволяють оцінювати бажані властивості розроблюваної системи та її сумарний ефект.

Мета параметричного синтезу – комплексне визначення узгоджених і збалансованих за рівнями дослідження системи необхідних кількісних значень її показників, включаючи загальні показники ефективності управління, а також частинні показники структури, процесів функціонування інформації.

3.3.5. Основні рівні аналізу і синтезу систем управління.

Системний підхід вимагає багаторівневого вивчення системи управління. Виділяються такі рівні аналізу і синтезу систем керування: зовнішній, вихідний, загальносистемний, системний.

На зовнішньому рівні аналізується система більш високого рівня (зверхсистема), до складу якої входить досліджувана система

управління. У процесі дослідження зверхсистеми: визначаються цілі та завдання зверхсистеми; виділяються (у зверхсистемі) підсистеми (функції, завдання), в інтересах яких застосовується система управління; уточнюються показники і критерії даних підсистем; визначаються зовнішні властивості і відповідні показники системи управління, які можуть вплинути на ефективність зверхсистем.

На початковому рівні досліджувана система управління виділяється як окремий цілеспрямований елемент зверхсистеми, яка включає різні, в тому числі і протилежні за інтересами, підсистеми. Основні завдання дослідження на початковому рівні: виділення досліджуваної системи у вигляді окремого цілеспрямованого елемента (ЦСЕ); виявлення вхідних цілезадаючих, забезпечуючих і перешкоджуючих (руйнуючих) впливів, що надходять від різних підсистем зверхсистеми на ЦСЕ; встановлення показників і критеріїв ефективності ЦСЕ, які характеризують зовнішні властивості системи управління і її вплив на зверхсистему.

На загальносистемному рівні проводиться деталізація ЦСЕ на керуючу систему (КС) і об'єкт управління (ОУ). Основними завданнями дослідження на даному рівні є: декомпозиція ЦСЕ на керуючу систему і об'єкт управління; формування керуючих впливів; визначення маршрутів руху до мети; визначення показників, які розкривають структуру системи і ефективність управляючих впливів.

На системних рівнях здійснюється подальша декомпозиція КС і ОУ шляхом виділення окремих елементів і зв'язків між ними.

Відповідно до постулату декомпозиції і багаторівневої моделі дослідження систем управління вся сукупність показників (характеристик) системи має ієрархічну структуру і включає показники: зовнішнього рівня; вихідного рівня; загальносистемного рівня; системних рівнів.

Показники зовнішнього рівня включають показники окремих підсистем зверхсистеми, які взаємодіють з досліджуваною системою управління.

Показники вихідного рівня характеризують зовнішні властивості системи управління і її вплив на зверхсистему. Вони включають:

- показники ефективності, за допомогою яких можна оцінити ступінь пристосованості системи або її окремих елементів відповідного рівня до виконання поставлених завдань;

- параметри вибору, що містять характеристики окремих властивостей системи управління, що впливають на показник ефективності.

Показники загальносистемного рівня визначають структуру системи управління на рівні КС і ОУ, а також процеси функціонування відповідних елементів при виробленні керуючих впливів і реакцій.

Показники системних рівнів включають різні структурні, функціональні та інформаційні характеристики досліджуваної системи до прийнятого ступеня деталізації.

ТЕМА 4. ЕКОНОМІЧНІ СИСТЕМИ

4.1. Поняття економічної системи, їх класифікація та моделі.

Економічна система – це складна, саморегульована, відкрита система, що складається з підсистем (фірми, компанії, підприємства та ін.), що характеризують виробництво, розподіл, обмін і споживання матеріальних благ і послуг. Кожна підсистема описується набором параметрів, і свій набір параметрів має зв'язок між підсистемами.

У сучасній науковій і навчальній літературі класифікація економічних систем заснована на двох ознаках: формі власності на економічні ресурси та способі координації економічної діяльності. Виходячи з цього, розрізняють традиційну, командну (планову), ринкову і змішану економічні системи.

Традиційна економічна система заснована на пануванні традицій і звичаїв у господарській діяльності. Технічний, науковий і соціальний розвиток в таких країнах вельми обмежений, тому що він вступає в протиріччя з господарським укладом, релігійними і культурними цінностями. Ця модель економіки була характерна для стародавнього і середньовічного суспільства, але зберігається і в сучасних слаборозвинених державах.

Командна економічна система обумовлена тим, що більшість підприємств знаходиться в державній власності. Вони здійснюють свою діяльність на основі державних директив, всі рішення про виробництво, розподіл, обмін і споживання матеріальних благ і послуг в суспільстві приймаються державою.

Ринкова економічна система визначається приватною власністю на ресурси, використанням системи ринків і цін для координації економічної діяльності та управління нею. В економіці вільного ринку держава не має ніякого значення в розподілі ресурсів, всі рішення приймаються ринковими суб'єктами самостійно, на свій страх і ризик.

У сьогодишньому реальному житті немає прикладів чисто командної або чисто ринкової, повністю вільної від держави економіки. Більшість країн прагнуть органічно і гнучко поєднувати ринкову ефективність з державним регулюванням економіки. Таке об'єднання утворює змішану економіку.

Змішана економічна система представляє таку економічну систему, де і держава, і приватний сектор грають важливу роль у виробництві, розподілі, обміні і споживанні всіх ресурсів і матеріальних благ в країні. При цьому регулююча роль ринку доповнюється механізмом державного регулювання, а приватна власність співіснує з суспільно-державною. Змішана економіка на сьогодишній день представляє найбільш ефективну форму господарювання. Можна виділити п'ять основних завдань, що вирішуються змішаною економікою:

- забезпечення зайнятості;
- повне використання виробничих потужностей;
- стабілізація цін;
- паралельне зростання заробітної плати і продуктивності праці;
- рівновага платіжного балансу.

Вирішення цих завдань здійснювалося державами в різні періоди по-різному, з урахуванням взаємного досвіду. Умовно можна виділити три моделі змішаної економіки.

Неоетатистська (Франція, Англія, Італія, Японія) характеризується розвиненим націоналізованим сектором. Основна її ознака - націоналізація ключових галузей, а також вплив на ринок з тим, щоб можливості окремих гравців були приблизно однаковими. У ряді випадків в економічну політику включаються антимонопольні механізми.

Неоліберальна модель (Німеччина, США). Характеризується меншим втручанням держави в справи ринку, ніж при неоетатистському сценарії. Влада намагається впливати на якість функціонування господарських інститутів, але не на сам конкурентний процес. Разом з тим антимонопольний компонент також може бути задіяний – з метою захисту вільної конкуренції. Вона розглядається як найбільш ефективна система регулювання. Держава, по суті, втручається лише для захисту конкуренції.

Модель узгодженої дії (Швеція, Голландія, Австрія). В основі цієї моделі лежить принцип згоди представників соціальних сторін (уряду, профспілок, роботодавців). Через спеціальні податки на інвестиції уряд перешкоджає «перегріву» економіки, регулює ринок праці. Спеціальні закони впливають на співвідношення зростання заробітної плати і продуктивності праці, прогресивне оподаткування обчислюється за прогресивною шкалою (зазвичай вище, ніж в тих країнах, де практикується неоліберальна модель) і сприяє вирівнюванню доходів. У країнах цієї моделі створена потужна система соціального забезпечення, проводиться активна структурна політика. Кінцева мета влади – набуття ресурсів для підтримки рівності соціального становища громадян.

В даний час в Україні існує *еклектична економічна система*, що складається з елементів адміністративно-командної системи, ринкової економіки вільної конкуренції і сучасної ринкової системи. Її особливістю є те, що існуючі в нашій країні майнові відносини і організаційні форми економічної системи (нехай навіть еклектичної)

знаходяться в русі, постійно змінюючись. Таким чином, відсутня важлива особливість системи – її відносна стабільність, і вона має перехідний характер. Цей перехід, судячи з усього, розтягується на десятиліття, і з цієї точки зору перехідна економіка теж може бути названа системою і вона займає особливе місце в розвитку суспільства.

Перехідна економічна система – це економіка, яка знаходиться в стані змін, переходу від одного стану в інший, як в межах одного типу господарства, так і від одного до іншого типу господарства.

Від перехідної економіки слід відрізняти *перехідний період* у розвитку суспільства, в ході якого відбувається зміна одного типу економічних відносин на інший.

При цьому в перехідній економіці кожної країни перетинаються три фундаментальні тенденції. Перша з них полягає в поступовому вмиранні (як природному, так і штучному) «мутантного соціалізму», який отримав свою назву порівняно не з теоретичним ідеалом, а з реально існуючою в світовій практиці тенденції соціалізації. Друга тенденція пов'язана з генезисом відносин посткласичного світового капіталістичного господарства (сучасної ринкової економіки, заснованої на приватно-корпоративної власності). Третя тенденція полягає в посиленні процесу соціалізації – зростання ролі громадських (групових, національних та інтернаціональних) цінностей в економічному розвитку і гуманізації суспільного життя як передумови будь-яких сучасних трансформацій. Очевидно, що в таких умовах остаточний вибір економічної системи в Україні залежатиме, кінець кінцем, від співвідношення політичних сил в країні, характеру перетворень, що проводяться, масштабності і ефективності здійснюваного реформування усіх сфер громадського життя, масштабами і ефективністю підтримки реформ міжнародним співтовариством, а також від адаптації суспільства до змін.

Підводячи підсумок, відзначимо, що економічні системи багатовимірні. Вони можуть бути формалізовані: $ES = F(A_1, A_2, A_3 \dots A_n)$. Інакше кажучи, економічна система (ES) визначається своїми властивостями (A), де існує n таких властивостей. Це і означає, що

економічна система не може бути визначена в термінах єдиної характеристики.

4.2. Застосування системного підходу в економіці.

В останні роки ведуться активні дискусії з питання застосування системного підходу в управлінні економічними системами. Існуючі різні точки зору, що стосуються окремих аспектів його використання схожі в одному – в загальній думці вчених про незаперечну цінність і значимість даного підходу, в управлінні, оскільки, кажучи про управління економічними системами, ми повинні мати на увазі управління складною, динамічною, відкритою системою. Такий підхід змушує задуматися про надзвичайно важку задачу, пов'язану з реалізацією аналізу такого об'єкта для оптимального управління їм. Найбільш часто виникають труднощі в управлінні економічними системами пов'язані з технологією аналізу систем.

Сьогодні поняття "аналіз" переросло свої початкові рамки і, в більшості випадків, має на увазі наукове дослідження. Складність управління економічною системою не дозволяє особі, що приймає рішення (ОПР), підходити до прийняття рішень з своїх чисто суб'єктивних позицій. Кожне його рішення має бути об'єктивним, науково обгрунтованим, тому йому передують попереднє дослідження, яке майже завжди протікає за традиційним алгоритмом: "аналіз – діагноз – прогноз". Глибина його проведення залежить, в першу чергу, від важливості розв'язуваної проблеми. Комплексність, системність аналізу обумовлені тим, що його форма повинна бути адекватна об'єкту дослідження – системі. Ефективність функціонування всієї системи буде залежати від стану кожного окремо взятого в ній елемента, оскільки усі частини в системі взаємозв'язані і відхилення від оптимальної норми одного з них спричинить відповідні збої в роботі інших елементів, а, отже, відіб'ється на ефективності усієї системи в цілому.

Інтеграція безлічі системних елементів спрямована на досягнення певних цілей, результатів і володіє динамічністю, послідовністю, взаємозалежністю і цілеспрямованістю. Це говорить

нам про наявність в системі певних процесів, в яких кожен елемент пов'язаний причинно-наслідковою залежністю з іншими. На наш погляд, підхід особи, приймаючої рішення, до системного аналізу управління з точки зору знання закономірностей протікання внутрішньосистемних процесів, їх взаємодій, може істотно полегшити проведення самого системного аналізу.

Знання суті і логіки процесів дозволяють виявляти проблеми в управлінні до їх виникнення, тобто адекватно прогнозувати управлінську ситуацію. Тому, стає очевидним той факт, що досить часто зустрічаються ситуації, коли потрібний розтин і уточнення будь-якого процесу в управлінні або його взаємодії з іншими процесами в системі. Існує ряд аналітичних методів, що дозволяють це здійснити, але окремо слід зупинитися на *морфологічному (структурному) методі* аналізу, так як він, являючись порівняно простою процедурою, дозволяє визначити відповіді практично на всі найбільш важливі проблеми, що стосуються внутрішньосистемних процесів в управлінні.

Морфологічний метод аналізу називають ще "*методом морфологічного ящика*". Щоб зрозуміти сутність даного методу розглянемо процедуру роботи на його основі.

На початковому етапі використовується вся повнота знань про об'єкт, з метою систематизованого розгляду його складових елементів, їх властивостей, явищ, пов'язаних з ним і т. ін. Цьому служить прийом систематизованого охоплення: при ньому вся сукупність знань, про об'єкт ділиться ОПР на рівні, які систематично проглядаються один за іншим. При цьому, необхідною вимогою є повна відсутність будь-якого попереднього судження. Далі, виявлені знання, предмети, явища, параметри і т. ін. за якими-небудь ознаками розбиваються на групи. Кожна група, в свою чергу, піддається ретельному вивченню, в процесі якого елементи, що входять до неї, упорядковуються і займають певне місце. Такий підхід дозволяє накопичувати дані для подальшого дослідження за методом "*морфологічного ящика*".

Після того, як необхідні дані накопичені, проводиться послідовне попарне з'єднання будь-якого елемента однієї групи з кожним елементом іншої групи, складаючи для кожної пари характеристики, яка викриває суть даної комбінації. Зазвичай для цієї процедури в якості організуючого елемента використовується таблиця або матриця, в клітині якої заносяться згадані характеристики.

Після того, як будуть складені всі характеристики, буде неможливо встановити найбільш оптимальну послідовність явищ в сукупному процесі управління. Так, наприклад, при аналізі управління колективом стає очевидним: керівник повинен здійснювати управління в колективі таким чином, щоб виключити появу в ньому трудових і особистісних протиріч (технологічних, психологічних і соціальних). А саме: сформувати мотиви до цілеспрямованої діяльності, сприяти підвищенню можливостей колективу, організувати його цілеспрямовану діяльність і отримання реальних, заздалегідь запланованих результатів. З цього слідує, що випереджаюче попередження проблем керівником можливо лише в тому випадку, якщо функції аналізу і планування будуть багаторівневими, тобто будуть охоплювати весь майбутній процес роботи з колективом. Підводячи підсумок, ми можемо сказати, що взаємодія щодо нескладних внутрішньосистемних процесів утворює нову інтегративну форму, яка сама по собі виступає як цілісний процес управління, що не зводиться до суми своїх утворюючих.

Навряд чи можливо класифікувати всі ситуації економічного управління, при яких виникає потреба в системному аналізі. Визначимо найбільш поширені типи ситуацій управління, в яких можливе застосування системного аналізу:

1)Рішення нових проблем. За допомогою системного аналізу формулюється проблема, визначається, що і про що потрібно знати, хто повинен знати.

2) Рішення проблеми передбачає ув'язку цілей з безліччю засобів їх досягнення.

3) Проблема має розгалужені зв'язки, що викликають віддалені

наслідки в різних галузях народного господарства, і прийняття рішення по ним вимагає врахування повної ефективності і повних витрат.

4) Рішення проблем, в яких існують різні, важкі у порівнянні між собою варіанти вирішення проблеми, або досягнення взаємопов'язаного комплексу цілей.

5) Випадки, коли в народному господарстві створюються абсолютно нові системи або докорінно перебудовуються старі системи.

6) Випадки, коли здійснюється поліпшення, вдосконалення, реконструювання виробництва або економічних відносин.

7) Проблеми, пов'язані з автоматизацією виробництва, а особливо управління, в процесі створення автоматизованих систем управління в будь-якій ланці.

8) Робота з удосконалення методів і форм економічного управління, бо відомо, що жоден з методів економічного управління не діє сам по собі, а тільки в певному поєднанні, у взаємозв'язку.

9) Випадки, коли вдосконалення організації виробництва або управління проводиться на об'єктах унікальних, нетипових, що відрізняються специфікою своєї діяльності, де не можна діяти за аналогією.

10) Випадки, в яких прийняті на майбутнє рішення, розробка плану або програми розвитку повинні враховувати фактор невизначеності і ризику.

11) Випадки, коли планування або вироблення відповідальних рішень про напрямки розвитку приймається на досить віддалену перспективу.

12) Розробка або вдосконалення системи управління, коли мається на увазі створення системи оптимального планування або управління, де потрібно вироблення самих критеріїв оптимальності з урахуванням цілей розвитку і функціонування економічної системи, її місця в суспільному поділі праці та економічних взаємозв'язків.

4.3. Методика системного аналізу економічних систем.

Ще раз слід зазначити, що системний аналіз економічних систем виник у відповідь на вимоги практики: в результаті появи необхідності вивчати і проектувати складні системи, управляти ними в умовах неповноти інформації, обмеженості ресурсів, дефіциту часу. Оскільки саме методологія *системного аналізу містить сукупність методів і засобів дослідження складних, багаторівневих і багатокомпонентних систем, що спираються на комплексний підхід, облік взаємозв'язків і взаємодій між елементами системи.*

Фахівцям з управління економічними системами сучасна методика системного аналізу рекомендує наступний перелік процедур:

1. *Визначення кордону досліджуваної економічної системи.*

2. *Визначення всіх надсистем, в які входить досліджувана економічна система в якості частини.*

Виходячи з взаємозв'язку всіх сфер життя сучасного суспільства, *будь-який економічний об'єкт, зокрема, підприємство, слід вивчати в якості складової частини багатьох систем – економічних, політичних, державних, регіональних, соціальних, екологічних, міжнародних.*

Кожна з цих надсистем, наприклад, економічна, в свою чергу, має чимало компонентів, з якими пов'язане підприємство – постачальники, споживачі, конкуренти, партнери, банки. Ці ж компоненти входять одночасно і в інші надсистеми – соціокультурну, екологічну, а якщо ще врахувати, що кожна з цих систем, а також кожен з їх компонентів мають свої специфічні цілі, що суперечать одна одній, то стає зрозумілою *необхідність свідомого вивчення середовища, що оточує підприємство.* В іншому випадку вся сукупність численних впливів, що надаються надсистемами на підприємство, буде здаватися хаотичною і непередбачуваною, виключаючи можливість розумного управління.

3. *Визначення основних рис і напрямків розвитку всіх надсистем, яким належить дана система, зокрема, формулювання їх цілей і протиріч між ними.*

4. *Визначення ролі досліджуваної системи в кожній надсистемі як засобу досягнення цілей надсистеми.*

Слід розглянути при цьому два аспекти:

- *ідеалізовану, очікувану роль* системи з точки зору надсистеми, тобто ті функції, які слід було б виконувати, щоб реалізувати цілі надсистеми;
- *реальну роль* системи в досягненні цілей надсистеми.

Прикладом подібного двостороннього підходу може бути оцінка потреб покупців в конкретному виді товарів, їх якості і кількості, а з іншого боку – оцінка параметрів товарів, що реально випускаються конкретним підприємством.

Визначення очікуваної ролі підприємства в споживчому середовищі і його реальної ролі, а також їх порівняння, дозволяють зрозуміти багато причин успіху або невдачі компанії, особливості його роботи, передбачити реальні риси її майбутнього розвитку.

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

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

Слід підкреслити багатоструктурність будь-якої економічної системи.

Приклад. На підприємстві існує:

- організаційна структура – сукупність так званих відносин субординації і координації, інакше кажучи, відносин підлеглості і узгодженості;
- інформаційна структура, що виражається в певних формальних і неформальних потоках інформації;
- потоки матеріалів, сировини, деталей, готових виробів, складаючих свої структури;
- структура, що представляє собою сукупність відносин власності;
- морально-психологічна структура суто людських відносин – симпатії і антипатії між працівниками;

- відносини між різними групами працюючих, частина з яких носить політичний характер, наприклад, між членами профспілок, партій, громадських рухів.

7. Визначення функцій активних елементів системи, їх "внеску" в реалізацію ролі системи в цілому.

Принципово важливим є гармонійне, несуперечливе поєднання функцій різних елементів системи. Ця проблема особливо актуальна для підрозділів, цехів великих підприємств, чиї функції часто багато в чому "нестикуються", недостатньо підпорядковані загальному задуму.

8. Виявлення причин, які об'єднують окремі частини в систему, в цілісність.

Вони носять назву інтегруючих чинників, до яких в першу чергу відноситься людська діяльність. В ході діяльності людина усвідомлює свої інтереси, визначає цілі, здійснює практичні дії, формуючи системи засобів для досягнення цілей. Вихідним, первинним інтегруючим фактором є мета.

Мета в будь-якій сфері діяльності є складне поєднання різних суперечливих інтересів. У перетині подібних інтересів, у своєрідній їх комбінації полягає справжня мета. Всебічне пізнання її дозволяє судити про ступінь стійкості системи, про її несуперечності, цілісності, передбачити характер її подальшого розвитку.

9. Визначення всіх можливих зв'язків, комунікацій системи з зовнішнім середовищем.

Для дійсно глибокого, всебічного вивчення системи недостатньо виявити її зв'язки з усіма надсистемами, яким вона належить. Необхідно ще пізнати такі системи у зовнішньому середовищі, яким належать компоненти досліджуваної системи. Так, слід визначити всі системи, яким належать працівники підприємства – профспілки, політичні партії, сім'ї, системи соціокультурних цінностей і етичних норм, етнічні групи і т. ін. Необхідно також добре знати зв'язки структурних підрозділів та працівників підприємства з системами інтересів і цілей споживачів, конкурентів, постачальників, зарубіжних партнерів. Потрібно також бачити зв'язок між

використовуваними на підприємстві технологіями і "простором" науково-технічного процесу. Усвідомлення органічної, хоча суперечливої єдності всіх систем, що оточують підприємство, дозволяє розуміти причини його цілісності, запобігати процесам, що призводять до дезінтеграції.

10. Розгляд досліджуваної системи в розвитку.

Для глибокого розуміння будь-якої системи можна обмежуватися розглядом коротких проміжків часу її існування і розвитку. Доцільно по можливості досліджувати всю її історію, виявити причини, що спонукали створити цю систему, визначити інші системи, з яких вона виростала і будувалася. Також важливо вивчати не тільки історію системи або динаміку її нинішнього стану, а й спробувати, використовуючи спеціальні прийоми, побачити розвиток системи в майбутньому, тобто прогнозувати її майбутні стани, проблеми, можливості.

Приклад. Необхідність динамічного підходу до дослідження систем легко проілюструвати порівнянням двох підприємств, у яких в якийсь момент часу збіглися значення одного з параметрів, наприклад, обсяг продажів. З цього збігу зовсім не випливає, що підприємства займають на ринку однакове становище: одне з них може набирати силу, рухатися до розквіту, а інше, навпаки, переживати спад. Тому судити про будь-яку систему, зокрема про підприємство, не можна лише за "моментальною фотографією", по одному значенню будь-якого параметра, необхідно досліджувати зміни параметрів, розглянувши їх в динаміці.

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

На закінчення можна відзначити наступне. Успішність будь-якої економічної діяльності тим більш ймовірна, чим вище рівень системності, а невдачі викликані недостатньою системністю. Поява

проблеми - ознака недостатньої системності, рішення проблеми – результат підвищення системності.

В цілому можна сказати, що в процесі системного аналізу:

- вирішуються такі проблеми, які не можуть бути поставлені і вирішені окремими методами;
- використовуються не тільки формальні методи, а й методи якісного аналізу – методи, спрямовані на активізацію використання інтуїції і досвіду фахівців – евристики;
- об'єднуються різні методи за допомогою єдиної методики;
- з'являється можливість об'єднати знання, судження і інтуїцію фахівців різних областей знань і зобов'язує їх до певної дисципліни мислення;
- основна увага приділяється цілям і формуванню цілей;
- спочатку розглядається об'єкт (проблема) як цілісне зв'язане утворення, а потім проводиться більш детальний аналіз з встановленням причинно-наслідкових зв'язків між елементами і навколишнім середовищем.

4.4. Підприємство як цілеспрямована система.

Серед систем, створюваних людьми, можна виділити особливу категорію так званих *цілеспрямованих систем*. Це такі *системи, які містять в собі в якості своїх компонентів людей*. З точки зору аналізу цілей такі системи є особливо складні об'єкти.

Розглянемо в якості ілюстрації еволюцію поглядів західного суспільства на економічну систему – підприємство.

Процеси ряду останніх десятиліть, особливо після Другої світової війни, привели західний світ до уявлення про підприємство як організації в широкому соціальному сенсі цього слова, тобто добровільне об'єднання власників і працівників, які є носіями індивідуальних цілей. Тому *мета сучасного підприємства не може бути зведена, як вище вже зазначалося, до отримання максимального прибутку; мета сучасного підприємства представляє собою суму цілей усіх його працівників, власників, споживачів і, строго кажучи, всіх інших суб'єктів суспільства, якимось чином пов'язаних з ним*. Щоб відрізнити цілі членомістосодержащих систем, що

містять людей, від будь-яких інших, слід всі системи розділити на два класи – механічні та органічні системи. Механічні системи можуть бути побудовані в значній мірі в сваволі їх творців; вони володіють раз і назавжди заданими ззовні властивостями і власних цілей не мають. А органічні системи за аналогією з живими, біологічними організмами мають здатність до свідомої зміни, до саморозвитку. Такі системи створюють відсутні органи, засоби для досягнення своїх цілей. Якщо керівництво підприємства створює умови для його розвитку, то таке підприємство здатне вижити в сучасних економічних умовах і досягти певного успіху. Це є наслідком того, що підприємство стає відкритою системою за рахунок відображення в цілях його працівників навколишнього світу, його мінливих ідей, цінностей та інтересів. Якщо ж намагатися будувати підприємство за законами функціонування механізмів, то таке підприємство не може стати нічим більшим, ніж механізмом, приреченим на вмирання в умовах сучасного ринку, стаючи закритою системою, нежиттєдією та деградууючою.

Що є основою цілей працівника сучасного підприємства? Давно пішли в минуле уявлення, що головна мета працівника полягає тільки в отриманні максимальної зарплати, що саме матеріальний стимул є основним мотивом його трудової діяльності. Спеціальні дослідження показали, що *потреби сучасного працівника, які лежать в основі його цілей – багатоаспектні, багатогранні*. У цивілізованих суспільствах на перший план виходять не матеріальні стимули, а мотиви духовного, психологічного плану, морального характеру. І дійсно, сучасна людина *відчуває потребу в самореалізації, у творчості, в свободі, в суспільному визнанні, у надійному майбутньому і, звичайно, в хорошому матеріальному забезпеченні*. Лише така фірма буде в повній мірі стабільною і процвітаючою, де найважливіші людські та професійні потреби її працівників будуть задоволені. Однак цілі фірми як цілого не можна звести лише до цілей її працівників або до цілей її господарів. Насправді цілі підприємства повинні представляти собою гармонійне поєднання – систему чотирьох

категорій цілей: цілей його працівників, цілей його власників, цілей споживачів його продукції та цілей суспільства в цілому.

Серед всіх цілей фірми необхідно виділити *стрижневу, базову мету*, яка буде провідним стимулом діяльності фірми; вона повинна грати не тільки організуючу і інтегруючу роль, але виконувати і надихаючу, пропагандистську функцію. Така мета є *місією фірми, її призначенням для споживачів*. Вона, природно, публічно оголошується, рекламується, а, головне, *доводиться до свідомості кожного працівника підприємства, спонукаючи його до активного служіння на благо споживача*. Ясно, що максимізація прибутку не може служити місією підприємства, оскільки є лише його внутрішньої метою, в той час, як *місія являє собою мету, що виходить за рамки підприємства*. Наприклад, місією фірми "Мак Доналдс" є швидке, якісне обслуговування клієнтів за допомогою стандартного набору продуктів. Зрозуміло, що місія фешенебельного ресторану суттєво від неї відрізняється, вона орієнтована на інші потреби клієнтів.

Всі інші цілі підприємства повинні представляти собою засоби реалізації його місії. До таких засобів можна віднести службу маркетингу, виробництво, підбір і навчання персоналу, проведення науково-дослідних робіт і багато іншого. Природно, що ефективно здійснити місію фірми можна лише тоді, коли всі засоби, що використовуються для цього, пов'язані в єдину гармонійну систему. При цьому кожен з засобів, в свою чергу, теж являє собою систему, що складається з різних компонентів. Наприклад, виробництво складається з взаємопов'язаних цехів, відділів, служб. Кожен цех – теж система, що включає в себе верстати, обладнання, обслуговуючий персонал і багато іншого. Можна зробити висновок, що сукупність засобів, призначених для досягнення якоїсь мети, наприклад місії фірми, або будь-якої іншої мети, являє собою систему, яка містить в собі безліч підсистем, як би "вкладених" одна в одну, нагадуючи собою конструкцію "матрьошки". При цьому будь-яка з цих систем має подвійність, будучи одночасно і метою, і засобом: з одного боку інтегральна якість, роль цієї системи є мета,

для досягнення якої призначені компоненти системи як засоби, а з іншого боку, сама ця система є засобом для досягнення мети більш високого порядку. Наприклад, виробництво моторів є метою для працівників моторного цеху, але засобом для підприємства в цілому. Сама ця система є засобом для досягнення мети більш високого порядку.

Для успішної підготовки рішень особливо важливо те, що даний метод дозволяє розчленовувати складну, важковирішувану задачу на сукупність відносно простих, для вирішення яких існують перевірені прийоми і методи. Адже на відміну від багатьох інших сфер діяльності управління пов'язане з вирішенням таких проблем, які викликаються величезним числом різноманітних чинників і умов і далеко не завжди виражаються з кількісної сторони. Все це робить кожен задачу, яка вирішується в управлінській сфері, по-своєму унікальною і не має готового рішення. Послідовне розчленовування вирішуваної проблеми на часткові підпроблеми є важливим етапом системного аналізу. Членування має тривати до тих пір, поки не буде здійснено розбиття на звичні, очевидні підпроблеми, які вирішуються відпрацьованими прийомами. Саме ця сторона системного аналізу має велике практичне значення для створення управлінських рішень.

Адже зовсім недостатньо, виходячи із загальних цілей, правильно визначити *завдання*, які стоять перед органами управління конкретної організації на певному етапі. Завжди виникають значні труднощі при переході до *практичних форм* і методів їх вирішення. Якщо *допускається розрив між цілями і засобами*, то організація не зможе вирішити поставлені завдання. Тим самим невміння використовувати прийоми, за допомогою яких в єдине ціле пов'язуються цілі та засоби, призводить до нездатності менеджерів реалізувати своє призначення – домагатися досягнення цілей.

Методом системного аналізу, спрямованим на забезпечення *єдності вибраної цілі та засобів її досягнення*, є побудова "дерева цілей" – це структурована, побудована за ієрархічним принципом (розподілена по рівнях, за рангами) сукупність цілей економічної системи.

Побудова "дерева цілей" економічної системи починається з процедури структуризації, розчленування основної мети на складові елементи, званими підцілями, кожна з яких є засобом, напрямком або етапом її досягнення. Потім кожна з підцілей, в свою чергу, розглядається як мета і розчленовується на компоненти. Будь-який з отриманих елементів повинен також розглядатися як мета і розкладатися на складові частини. Якщо всі ці елементи уявити графічно, то вийде так зване "дерево цілей", звернене "короною" вниз. При цьому головна мета виявляється на верхньому рівні. Процес розчленування слід вести до тих пір, поки на самому нижньому рівні "дерева" не опиняться кошти, реалізація яких не викликає принципових труднощів і сумнівів.

Даний метод має уявну простоту, і це може викликати прагнення використовувати його для економічних систем, глибоко не оволодівши усіма його сторонами і особливостями, не пристосовуючи його до розробки саме управлінських рішень з урахуванням їх специфіки. На практиці процес структуризації цілей економічних систем здійснювати дуже непросто, він вимагає особливої строгості мислення, оскільки в реальних економічних системах багато неформальних відносин, складних взаємодій, які важко виділити і врахувати.

Істотна перевага зазначеного методу полягає в органічній єдності аналізу і синтезу. Досвід показує, що нерідко організації користуються в основному аналізом у вузькому сенсі цього слова, розчленуванням завдань, проблемних ситуацій на складові частини. Набагато гірша справа з синтезом, для якого необхідно діалектичне мислення, певна філософська культура. Разом з тим менеджмент вимагає синтетичного, системного підходу, оскільки управління – це діяльність, яка в першу чергу спрямована на об'єднання, на синтез інтересів людей. Застосування методу "дерева цілей" служить з'єднанню в процесі створення управлінського рішення аналітичної та синтетичної роботи. Сам процес розчленування спільної мети на підцілі служить способом їх об'єднання, оскільки виявляються не тільки окремі компоненти, але і відносини між ними, зв'язок з

головною метою. Таким чином, структуризація здійснюється одночасно з інтеграцією.

Хоча дерево цілей відображає структури систем далеко не повністю, і замінити собою всю сукупність процедур системного аналізу не може, але, разом з тим, воно допомагає наочно висловити "цільовий" підхід до організації сучасного підприємства, що особливо важливо в умовах динамічного середовища, що постійно впливає на цілі підприємства.

4.5. «Дерево цілей» і показники діяльності компанії.

Компанія (фірма, підприємство) – це складна взаємодіє система власників, менеджерів, службовців, ресурсів і технологій, і зв'язку між усіма елементами цієї системи. Системний аналіз діяльності компанії передбачає отримання відповідей на наступні питання: чи існує універсальна «мета цілей», яка є «бажаною» практично для будь-якої компанії; які сучасні підходи до інтегральної оцінки діяльності підприємства; які загальновизнані цілі і їх ієрархія, яка утворює «дерево цілей» компанії?

До недавніх пір вищою метою за замовчуванням (і одночасно показником успіху) для більшості українських компаній, що опинилися в умовах ринкової економіки був прибуток, і тільки прибуток. Причому для них важливим є прибуток сьогоднішнього дня, який в усьому світі вже давно відрізняють від довготривалого, «стратегічного» успіху і прибутку в майбутньому.

Багаторічний західний і вже напрацьований вітчизняний досвід довели, що компанії, зосереджені тільки на прибутку за даний рік або на забезпеченні поточної рентабельності (що розуміється, як економії на всьому), страждають на короткозорість. А правильний вибір критерію діяльності дуже впливає на рішення, що приймаються. Основні його постулати:

- *максимізація вартості компанії є головною метою стратегічного управління;*
- *приріст вартості є головним критерієм ефективності управління.*

Тобто підвищення ефективності управління підприємством визначається не тільки ліквідністю або величиною прибутку, а збільшенням «ціни» бізнесу. Цілеспрямоване управління вимагає вибору на верхньому рівні однієї, орієнтованої на вартість, цільової функції. І такою метою є «вартість бізнесу» в інтересах його власників (власників, акціонерів).

Не треба думати, що відсутність розвиненого фондового ринку (ринку акцій) робить такий підхід непридатним в Україні. Наприклад, навіть в малому бізнесі, компанія з поставленим регулярним менеджментом набуває реальну вартість і тільки такий бізнес можна продати як «бізнес», а не суму матеріальних активів, ефективно управління якими невіддільне від самого підприємця.

Відповідь на питання, «які фактори позначаються на вартості підприємства», до підвищення якої треба прагнути, дозволяє визначитися з наступним рівнем «дерева цілей».

Одним з головних відкриттів сучасної теорії управління бізнесом, зробленим на початку 90-х років 20-го століття, було те, що в процесі прийняття рішень керівники та власники відчують все більшу потребу в інформації не тільки фінансового характеру. В умовах ринків, що достатньо швидко розвиваються, і гострої конкуренції нефінансова інформація, що базується на оцінці нематеріальних активів підприємства, набуває все більшого значення. Поряд з (1) *отриманням прибутку і підвищенням капіталізації (фінанси)*, сьогодні першорядне значення набувають наступні цілі: (2) *завоювання часткою ринку і придбання конкурентних переваг, лояльності клієнтів, здатність підприємства забезпечити їх утримання*, (3) *прогресивності технологій і рівня налагодженості бізнес - процесів*, (4) *потужний і висококваліфікований кадровий потенціал* – усі ці чинники мають величезне значення і суттєво впливають на вартість компанії в сьогоденні і майбутньому.

Система Balanced Scorecard (BSC) – збалансована система показників, дає можливість оцінити ці чинники, відкриває нові можливості для управління і дозволяє контролювати тактичний стан і стратегічний розвиток бізнесу. Саме наявність такої збалансованої

системи показників дозволяє перейти від якісного опису цілей підприємства через ідеальний образ бажаного майбутнього результату підприємницької діяльності до операціонального. У цьому випадку мета це майбутній бажаний і досяжний результат, піддається кількісному вимірюванню і / або перевірці в експерименті.

Дана система покладена в основу найбільш потужної і популярної в світі системи управління підприємством фірми SAP AG – модуль SAP-SEM (Strategic Enterprise Management).

Використовуючи цей підхід, можна побудувати «дерева» цілей компанії і цілей автоматизації, як його фрагмент.

На верхньому рівні цього дерева знаходиться Місія компанії, що трактується як Цільовий стан Компанії, що є основою для розробки стратегії розвитку.

Система збалансованих показників переводить місію і корпоративну стратегію в систему чітко визначених цілей і завдань і, головне, в систему показників, що визначають ступінь досягнення даних установок в рамках чотирьох основних проекцій:

- фінансової (якою компанія представляється своїм акціонерам і інвесторам),
- маркетингової (якою компанія представляється своїм покупцям),
- внутрішніх бізнес-процесів (які бізнес-процеси необхідно поліпшити, від яких відмовитися, на яких зосередитися),
- навчання і зростання (чи може компанія продовжувати свій розвиток, підвищувати ефективність і збільшувати вартість).

В рамках кожної такої проекції визначаються приватні цілі, показники ефективності і показники, що їх оцінюють, які багато в чому залежать від специфіки діяльності компанії, обраних стратегій і можливостей їх спостереження за допомогою застосовуваних для автоматизації програмних продуктів. Основні показники ефективності по кожній із зазначених проекцій наведені в Таблиці 2.

Таблиця 2. Верхні рівні «дерева цілей» і засоби контролю їх досягнення за допомогою автоматизованих систем управління (на основі збалансованої системи показників ефективності).

Цілі в області:	Показники ефективності	Оцінюючі показники	Програмний засіб
1. Фінанси	1.1. Рентабельність активів	Прибуток / Активи	ERP-Системи
	1.2. Оборотність активів	Оборот / Активи	
	1.3. Рентабельність діяльності	Прибуток / Оборот	
2.Маркетинг	За ключовими сегментами ринку		
	2.1. Ключові фактори успіху товару	Усереднені по групі експертів, відранжовані і відібрані за рівнем 80% привабливості зважені оцінки привабливості ключових факторів успіху	Аналітичні CRM-системи
	2.2. Купівельна задоволеність	Усереднена по групі експертів сума зважених оцінок задоволеності за сукупністю ключових факторів успіху.	
	2.3 Ступінь лояльності клієнтів	Відсоток повторних звернень по відношенню до загальної кількості продажів	
	2.4. Частка ринку	Відсоток обсягу продажів компанії по відношенню до загального обсягу продажів товарів даного сегменту	
3. Бізнес-	За ключовими бізнес-процесами		

процеси	3.1. Ступінь зрілості окремих процесів	Шкала зрілості	Orgware / Work-Flow
	3.2. Ступінь зрілості системи процесів	Сума віднормованих зважених оцінок за сукупністю ключових процесів (за рівнем 80% важливості)	
	3.3. Кількість порушень процедур роботи	Випадків за звітний період	
4. Навчання і зростання	За ключовими фахівцями		
	4.1. Ключові фактори комфорту персоналу	Усереднені по групі експертів, відранжовані і відібрані за рівнем 80% зважені оцінки ключових факторів комфортності роботи персоналу	HRM-системи
	4.2. Задоволеність співробітників	Усереднена по групі експертів сума зважених оцінок задоволеності за сукупністю ключових факторів успіху.	
	4.3. Ступінь лояльності співробітників	Відсоток звільнень по відношенню до загальної кількості працюючих	
	4.4. Зростання кваліфікації	Кількість перепідготовок за звітний період	

Кожен з показників можна деталізувати далі, вводячи показники нижнього рівня. Наприклад, декомпозиція Цілей в області фінансів базується на передумові, що основна мета бізнесу на операційному рівні – це максимізація показника рентабельності активів, тобто відношення прибутку до оподаткування і виплати відсотків по кредитах до активів – показник, який характеризує основну діяльність підприємства.

$$PA = \frac{\text{Прибуток}}{\text{Активи}}$$

Підприємство повинно вибрати за рахунок чого цей показник в першу чергу буде поліпшуватися – за рахунок підвищення оборотності активів, наприклад за рахунок більш ефективного управління запасами, або за рахунок зниження витрат і підвищення тим самим рентабельності обороту. Для контролю цих показників коефіцієнт РА перетворюється шляхом домноження чисельника і знаменника на одне і те ж число (Виручку від реалізації або, що те ж саме, Оборот) в добуток двох показників:

$$РА = \frac{\text{Обіг}}{\text{Активи}} + \frac{\text{Прибуток}}{\text{Обіг}} = K_{oa} + K_{po}.$$

Таке перетворення дає можливість контролювати ще два цільових показника: K_{oa} - оборотність активів і K_{po} - рентабельність обороту (або продажів).

Можлива і подальша деталізація цих показників, які стануть критеріями успішності досягнення поставлених цілей менеджерами компанії.

При використанні методу "дерево цілей" як засобу прийняття рішень часто вводять термін "дерево рішень". При застосуванні "дерева" для виявлення і уточнення функцій управління говорять про "дерево цілей і функцій". При структуризації тематики науково-дослідної організації зручніше користуватися терміном "дерево проблеми", а при розробці прогнозів – терміном "дерево напрямків розвитку (або прогнозування розвитку)". Метод "дерева цілей" орієнтований на отримання повної і відносно стійкої структури цілей, проблем, напрямків, тобто такої структури, яка протягом якогось періоду часу мало змінювалася при неминучих змінах, що відбуваються в будь-якій системі, яка розвивається. Для досягнення цього при побудові варіантів структури слід враховувати закономірності цілеутворення і використати принципи і методики формування ієрархічних структур цілей і функцій.

4.6. Інформаційні аспекти системного аналізу економічних систем.

На основі структури виробництва, його специфіки, характеру суспільних, виробничих і економічних процесів формується інформація, яка відображає всі аспекти його функціонування.

У системному розумінні ця інформація розглядається з точки зору наступних аспектів:

прагматичний – виконання поставлених цілей і завдань, критеріїв оцінки їх здійсненності, способів опису інформаційних образів і потоків, стратегії і тактики виконання цілей;

семантичний – смисловий зміст інформації, її однозначність і конкретність і можливість застосування при виконанні поставлених цілей і завдань;

синтаксичний – правила і закони отримання, обробки, зберігання та передачі інформації, і включає в себе структурний аспект – правила і закони класифікації інформації, формування інформаційних файлів, баз даних і баз знань.

Стаціонарні режими обміну інформацією між різними структурами, службами, підрозділами виробництва називаються інформаційними потоками. Вони мають цілеспрямований характер і підпорядковані глобальним цілям виробництва як організаційно-економічної системи.

Розглянемо системне призначення основних інформаційних потоків і їх компонентів:

вхідні інформаційні потоки – зовнішні, по відношенню до даної системи, параметри вхідних матеріальних і енергетичних характеристик, завдання та інші компоненти інформаційного опису;

інформація стану – інформаційні потоки, що характеризують динамічний і статичний стан розглянутої системи;

вихідні інформаційні потоки – характеризують функціонування даної системи по відношенню до зовнішнього середовища.

Управління виробництвом, як процес, має чисто інформаційний характер і функціонально поділяється на інформаційні компоненти або інформаційні процеси (рівні):

стратегічне планування і управління – визначення програмної траєкторії управлінських впливів для виконання глобальних цілей системи (процедури планування);

оперативне планування і управління – деталізована в часі процедура нанесення управлінських впливів на технологічні, економічні та організаційні параметри виробництва з метою виконання завдань і різних графіків (наприклад, процедури регулювання, мінімізуючі поточні відхилення контрольованих параметрів від завдань);

оперативний контроль і облік – діагностика стану виробництва, виявлення відхилень, аналіз стану, причинно-наслідковий економічний і організаційно-технологічний аналіз.

Інформаційні потоки точно відповідають рівням управління або контурам управління, що підрозділяються: організаційно-економічний рівень; організаційно-технологічний рівень; рівень управління технологічними процесами і агрегатами.

Процедура отримання на основі вихідних інформаційних потоків $In(s)$ про безліч допустимих варіантів управлінь, що породжують стан системи s оптимальних управлінських рішень $U(s)$ залежить від багатьох чинників: використовуваних принципів оптимальності, класу управлінських завдань і допустимих рішень (див. спеціальну літературу). Залежно від $In(s)$ розрізняють три види інформаційного забезпечення процесу вироблення та прийняття оптимальних управлінських рішень $U(s)$:

– **в умовах повної інформації**, коли в системі є $In(s)$ в обсязі, необхідному для прийняття $U(s)$;

– **в умовах неповної чи недостовірної інформації**, коли для прийняття $U(s)$ необхідні додаткові процедури отримання, підвищення достовірності або відновлення інформації на основі наявних імовірнісних, статистичних чи інших методів обробки інформації;

– **в умовах повної або часткової інформаційної невизначеності**, коли повністю або частково невідома інформація про стан керованої системи і невідомі закони її отримання та обробки.

Управління, як процес цілеспрямованого впливу, проводиться людьми і тому обов'язково присутній:

- **проблема суб'єктивізму** при отриманні та використанні інформації;

- **проблема мінливості** і суперечливості цілей управління, (частина локальних цілей системи і складових її підсистем виявляються суперечливими і змінюються в часі);

- **проблема активності інформації**, яка полягає в тому, що в процесі управління, активні елементи – люди, які беруть участь у формуванні управлінських рішень, можуть цілеспрямовано спотворювати інформацію відповідно до своїх цілей і завдань, що не обов'язково збігаються з цілями управління;

- **проблема невизначеності**, що включає невизначеність станів і впливів зовнішнього середовища, динамічна мінливість внутрішніх властивостей самої системи управління.

За напрямком і смисловим змістом інформаційні потоки, які використовуються для задач управління, характеризуються як:

- **інформуюча**, рухається від об'єктів управління до вузлів (рівнів) управління;

- **керуюча**, рухається в зворотному напрямку;

- **контрольно-перетворююча і діагностична**, охоплює всі рівні системи, визначає правила функціонування і взаємно погоджує алгоритми функціонування окремих елементів системи, спрямована на контроль стану системи і виявлення причин, що діють негативно на виконання цілей управління.

Інформаційні проблеми управління, пов'язані із застосуванням тих чи інших інформаційних технологій включають:

- **оптимізацію ієрархії цілей та інформаційної структури** шляхом уточнення цілей і усунення протиріч між ними, виключення непотрібних вузлів управління, виключення порожньої інформації, при необхідності створення нових вузлів і нових інформаційних потоків;

- **оптимізацію алгоритмів управління** і узгодження процесів обробки інформації із застосуванням ЕОМ;

- *оптимізацію внутрішньої структури* вузлів управління за рахунок скорочення довжини і рівнів узгодження при прийнятті управлінських рішень;

- *оптимізація структури об'єкта управління* за рахунок підвищення керованості, спостережливості, координації та досяжності як властивостей об'єкта управління;

- *організованість інформації* (включаючи організованість первинної інформації, інформаційних потоків, на основі коректних правил, методик, способів отримання, обробки та зберігання інформації та інших аспектів), поняття, що розглядається щодо будь-якого базису, взятого за еталон, причому, *абсолютної міри інформаційної організованості не існує*.

Змістовно, організованість інформації визначається при порівнянні результатів діяльності системи на заданому часовому інтервалі і визначенням втрат виробництва від некоректних управлінь. Причому, виділяють тільки ті рішення, які, в свою чергу, були обумовлені відсутністю достовірної інформації. Зауважимо, що завдання вважаються повністю здійсненими, цілі досяжними, критерії оцінки коректними. Міра – ΔG організованості визначається

$$-\Delta G = G(\Phi) - G(*),$$

де $G(\phi)$ – фактична міра, $G(*)$ – задана міра. Інакше цей захід називають мірою неорганізованості управління.

Для кількісних розмірних оцінок міри неорганізованості інформації завдання структурують за інформаційними ознаками і виконують розрахунок втрат.

В даний час українські підприємства, слідом за всім цивілізованим світом вступили в період не просто ринкової економіки, а «інформаційної» економіки постіндустріального суспільства. Основні потреби вже задоволені, фірми повинні або шукати специфічні потреби, або створювати нові, або просто покращувати продукцію, створювану нині. Незважаючи на те, що в більшості випадків на жаль підприємств і радості споживачів конкуренція витісняє слабкі компанії, єдиний спосіб вижити сьогодні – це використовувати інформацію осмислено і швидко.

Яка ж інформація потрібна фірмам для того, щоб знайти своє місце «під сонцем?» Тільки принципи бухгалтерського обліку визначають фірму як незалежну одиницю, але в дійсності вона тісно інтегрована з ринком і середовищем. Як об'єкти найсильніших зв'язків можна відзначити споживачів, конкурентів, партнерів і інвесторів. Крім того, на її діяльність впливають політичні, економічні, соціальні та технологічні ситуації. Коли фірма отримує інформацію про споживачів, вона визначає коло своїх бажань і створює набір цілей, яких хотіла б досягти. Інформація про конкурентів, партнерів, інвесторів дає можливість вибрати найбільш важливі цілі з цього набору і визначити шляхи реалізації обраних цілей.

Однак важливо не тільки знання зовнішніх чинників, але також внутрішніх можливостей і потреб фірми. Знання цих взаємозв'язків по-перше допомагає менеджерам компанії усвідомити потенціал організації, необхідний для досягнення поставлених цілей, а по-друге отримувати точну інформацію про процеси, що відбуваються всередині підприємства. Інша важлива інформація стосується джерел можливостей, третя – внутрішніх процесів. Наявність адекватної інформації важливо не тільки для розвитку самої фірми, але і для її контрагентів. Для того, щоб розробити ефективні інформаційні канали з клієнтами і партнерами, фірма повинна розуміти свої власні процеси. Фірма, яка може легко забезпечити інших достовірною та необхідною інформацією, отримує серйозну перевагу, так як інші учасники ринку також знаходяться в постійному пошуку достовірної інформації. Споживачі зацікавлені в надійності і швидкості виконання замовлення, інвестори – у фінансовій інформації щодо фірми, партнери – в знаннях про напрямки розвитку фірми; особливо важливим є те, що вся ця інформація повинна бути отримана своєчасно. Тому отримання інформації ззовні і її надання іншим створює як додаткові можливості, так і обумовлює виникнення нових шляхів для реалізації цих можливостей.

Крім того, зараз з упевненістю можна говорити, що в 21 столітті точні знання про внутрішні операції фірми є основа розвитку і

виживання бізнесу. Системи моделювання і планування ресурсів підприємства являють собою засіб ясного розуміння внутрішніх процесів. Зважаючи на важливість цих процесів розглянемо, яким чином відповіді на поставлені питання можна отримати з використанням математичного моделювання економічних систем.

ТЕМА 5. Математичне моделювання економічних систем

Як було вже сказано, системний підхід передбачає дослідження складних систем і, в першу чергу, економічних, проводити не на реальній системі-об'єкті, а на системі-моделі. В цьому випадку виявляється можливим, не вдаючись до експериментів на реальних економічних системах, оцінити різного роду робочі гіпотези щодо доцільності тих чи інших дій, користуючись відповідною абстрактною модельною системою, і виробити найбільш преференційне рішення по досягненню мети системою. Тому, моделювання економічних систем – важливий етап процедури прийняття рішення та в останні роки з розвитком комп'ютерних та інформаційних технологій все зростає розуміння того, що математичне комп'ютерне моделювання грає ключову роль в аналізі економічних систем,

У моделюванні виділяються дві основні рольові функції – функція аналітика, який здійснює моделювання та вироблення рішень, і функція "особи, що приймає рішення" – ОПР, людини, яка власне і здійснює прийняття рішення. У цих умовах на моделювання покладено відповідальну місію, служити свого роду "інтерфейсом" між аналітиком і ОПР, – моделювання виступає як свого роду "універсальна мова", на якій в об'єктивному вигляді можуть бути описані багато економічних ситуацій. Розглянемо докладніше цю ситуацію.

5.1. Схема операційного дослідження економічної системи.

Весь комплекс робіт з вивчення і вдосконалення економічної системи для досягнення поставленої мети проводить операційна

системи підвищує розмірність і складність багатокomпонентної системи, тим самим ускладнюючи її аналіз,

- сформулювати мету, виконувану системою,
- перерахувати чинники, які впливають на досягнення мети,
- визначити можливі обмеження, в рамках яких можна вдосконалювати систему.

5. Кількісний системний аналіз передбачає описати всі перелічені фактори, які беруть участь в операції на кількісному рівні на основі вимірних параметрів. Для цього:

- встановлюється *критерій (показник ефективності) (K)* – величина, яка кількісно вимірює ступінь досягнення мети системи і дозволяє порівнювати різні рішення по ефективності. У разі якщо має місце одноцільове прийняття рішень, то K – скаляр, якщо ж багатоцільове прийняття рішень, то K – вектор;

- вводяться кількісні внутрішні параметри системи, які вимірюють фактори, що беруть участь в описі системи. Всю множину цих факторів необхідно розбити на дві частини:

а) *некеровані (неконтрольовані) фактори*, якими ОС не розпоряджається і в даній конкретній системі (операції) міняти не може. Параметри $a_1, a_2, \dots, a_k$ цих факторів ми будемо розглядати як координати вектора, і позначати $a = (a_1, a_2, \dots, a_k)$.

Неконтрольовані фактори $a_1, a_2, \dots, a_k$, виходячи з інформованості про них, можна розбити на три групи: фіксовані, випадкові, невизначені.

Фіксовані неконтрольовані фактори – це такі фактори, значення яких точно відомі ОС. *Випадкові неконтрольовані фактори* є випадковими величинами, закони (функції) розподілу яких точно відомі ОС. *Невизначені неконтрольовані фактори* є детермінованими або випадковими величинами, щодо яких ОС відома лише область можливих значень або клас можливих законів розподілу,

б) *керовані параметри (змінні) $x_1, x_2, \dots, x_n$* - величини, якими ОС може розпоряджатися і міняти їх на свій розсуд. Ми будемо розглядати $x_1, x_2, \dots, x_n$ як координати вектора – єдиного елемента

математичної моделі, називати *стратегією* і позначати $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$.

6. Суть математичного моделювання – встановлення кількісних зв'язків між введеними величинами K , a , і x у вигляді так званої *операційної (математичної) моделі*. Елементи моделі містять всю інформацію, яка використовується під час розрахунку системи. Процес побудови моделі є досить трудомістким і вимагає чіткого розуміння специфічних особливостей даної системи. Існує багато різних класифікацій математичних моделей. Зокрема, моделі бувають багатокритеріальні, динамічні, в яких крім параметрів a і x явно присутня змінна часу, і статичні, в яких цієї змінної немає. В реальності все процеси протікають у часі, тому динамічні моделі, взагалі кажучи, більш точно описують дійсність. Однак слід мати на увазі, що всі ці моделі базуються на фундаменті методів однокритеріальної оптимізації та обмежуються простішими статичними моделями, без ясного розуміння яких неможлива робота з більш складним математичним апаратом. При цьому критерій ефективності представляють як числову функцію тільки стратегій і неконтрольованих факторів, тобто $K = f(x, a)$, де f – це модель цільової функції, вона встановлює функціональну залежність критерію K від некерованих параметрів і керованих величин x .

Для цільової функції вказується напрямок поліпшення критерію

$$K = f(x, a) \rightarrow \min (\max). \quad (5.1)$$

Цим виразом і визначається зміст оптимізації системи, таким чином він є математичним еквівалентом мети операції. Завдання цільової функції становить першу частину побудови операційної моделі.

Друга частина операційної моделі – математичний опис обмежень на вибір змінних x . Всі обмеження в загальному вигляді можна записати у вигляді нерівностей і рівностей:

$$\varphi_i(x, a) (\leq, =, \geq) 0, \quad i = \overline{1, m}. \quad (5.2)$$

Кожна функція $\varphi_i(x, a)$ називається *функцією обмеження*. У деяких завданнях є вимоги на сам вид змінних x або K .

$$\left. \begin{array}{l} x \in D \\ K \in M \end{array} \right\}. \quad (5.3)$$

Наприклад часто виникає вимога, щоб x або K повинні бути цілими числами. У деяких випадках вони повинні належати деякого стандартного безлічі значень.

Модель у вигляді (5.1), (5.2), (5.3) – *модель операційного виду або оптимізаційна модель* (не оптимізаційна – без цільової функції).

Оптимізаційна модель (5.1), (5.2), (5.3) дозволяє поставити задачу оптимізації системи (операції) як задачу: знайти такі керовані змінні x^* , які задовольняли б системі обмежень (5.2), (5.3) і забезпечували б найкраще значення критерію K цільової функції.

7. Рішення поставленої математичної задачі вимагає залучення методів оптимізації, що включають крім класичних математичних методів також і спеціальні методи дослідження операцій, пов'язаних, наприклад, з методами багатокритеріальної оптимізації або коли в моделі присутні випадкові неконтрольовані параметри. Слід зазначити також, що в більшості своїй реальні завдання оптимізації призводять до великого обсягу обчислень (до десятків тисяч). Тому сучасні методи знаходження оптимальних рішень орієнтовані на використання комп'ютерних засобів.

8. Зіставляючи отримане рішення зі змістовною (вербальною) постановкою завдання можна виявити суперечності або якісь некоректні елементи рішення. Причиною некоректності можуть бути помилки в математичній моделі або не врахування деяких суттєвих обмежень. На цьому етапі може брати участь особа, яка приймає рішення. Якщо отримане рішення прийнятно – воно приймається, якщо ні – необхідно повернутися на етап математичного моделювання або навіть на більш ранні етапи дослідження.

9. Знайдене оптимальне рішення x^* дозволяє підготувати управляє рішення в формі документа для ОПР.

Таким чином, операційне дослідження – ітераційний процес, який сходиться до певного оптимального рішення. Розглянута схема є приблизною. Вона дозволяє краще зрозуміти сенс системного аналізу як науки – про кількісне обґрунтування оптимальних рішень на

основі побудови і використання математичної моделі. На жаль, процес перекладу на кількісний опис складних систем не є технологією. Математична модель може вийти вдалою або невдалою для отримання практичних рішень. Крім цього, далеко не завжди весь комплекс цілей і завдань, що стоять перед модельованим об'єктом, може бути виражений у формі деякої цільової функції.

Для ілюстрації основних етапів операційного проекту і складових елементів математичних моделей розглянемо приклади побудови моделей для деяких змістовних завдань.

5.2. Моделі і їх математичний опис.

Як ми вже знаємо, досліджуваний економічний об'єкт, що розглядається як система, входить складовою частиною в цілий ряд різних ієрархічних систем. В економічних системах головною дійовою особою є людина. Тому, вивчаючи конкретну економічну задачу, ми змушені «обривати» на деякому етапі ієрархію систем, «що йде вниз». Зробимо ми це на людині, або на якійсь сукупності людей – це вже залежить від досліджуваного завдання.

В якості «найменшого» елемента, який можна розглядати як «неподільний», звичайно, не обов'язково виступає людина. Цілком може виявитися, що в якості такого «неподільного» елемента можна розглядати, наприклад, окремі фірми (для задач оптимізації управління економікою регіону), соціальні групи (для задач розподілу коштів держбюджету), або галузі економіки (при розгляді балансу ресурсів в рамках валового внутрішнього продукту).

Іншими словами: на деякому етапі дослідження деякі компоненти нашу систему елементи покладаються нами вже не системами, а «кінцевими» і «неподільними» об'єктами. Таким чином, ієрархія систем розгортається вгору, виходячи від таких об'єктів, які, тим самим, стають об'єктами найнижчого рівня ієрархії.

Такий об'єкт – в силу зроблених нами припущень (тобто з нашої *ситуативної* точки зору) - вже не буде мати «внутрішньої будови». Тому він повинен розглядатися як об'єкт, який може бути охарактеризований – в рамках розглянутого нами завдання – тільки двома класами характеристик. Необхідність цього виникає внаслідок

тієї причини, що такі об'єкти повинні формувати систему – тобто вони повинні мати можливість *утворювати зв'язки* один з одним.

Але це можливо тільки при виконанні двох умов.

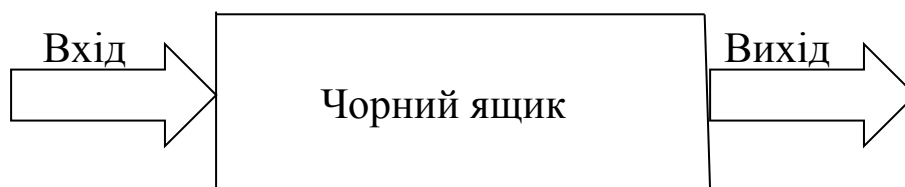
По-перше, об'єкт повинен мати здатність, *сприймати* вплив з боку інших подібних об'єктів (це може бути інформація, відомості, дані, сигнали). По-друге, він сам повинен володіти здатністю «генерувати» такі дії, які будуть впливати на інші подібні до нього об'єкти.

5.2.1. Модель «чорний ящик» і її опис.

Таким чином, приходимо до визначення: фрагмент системи, який розглядається як єдине ціле і характеризується тільки своїм «входом» (маючи, тим самим, здатність сприймати впливи від інших фрагментів системи) і «виходом» (за допомогою якого він сам взаємодіє з іншими об'єктами системи), називається *чорним ящиком*.

Чорний ящик – це, мабуть, найбільш потужне абстрактне поняття, що існує в рамках моделювання. Саме внаслідок його введення з'являється можливість побудови замкнутих систем, що моделюють досліджуваній об'єкт або процес. Чорний ящик – це «міра нашого незнання» про досліджувану систему.

Як правило, він позначається наступним чином у вигляді прямокутника, в який входять стрілочками позначені вхідні (in) характеристики чорного ящика - параметри, які їм *перетворюються* у вихідні (out) характеристики чорного ящика.



Отже, щоб задати чорний ящик, необхідно задати відповідність «вхідні параметри» - «вихідні параметри». При цьому слід пам'ятати, що внутрішня будова такого ящика залишається для нас невідомою: ми не знаємо, як він улаштований, не знаємо, як він функціонує, не знаємо, які він може мати стани і як здійснюється перехід між його станами (навіть якщо вони у нього є). Єдине, що можна сказати – це

тільки побудувати модель опису вхідних характеристик такого об'єкта (сукупність класів змінних, на які він «відповідає»), і співвіднести її (певними співвідношеннями) з моделлю вихідних характеристик чорного ящика (тобто з сукупністю класів змінних, в рамках яких можуть бути виражені його «відповіді»).

У загальному випадку, тим самим передбачається, що такий об'єкт – чорний ящик – інтегрований в якості «активного елементу» в якусь систему. Особливо наочно це видно в разі графічного (наприклад, у вигляді блок-схеми) опису системи.

Дані (характеристики, параметри, інформація і т.ін.), якими характеризується вхід, часто називаються *вхідними сигналами* чорного ящика. Дані (характеристики, параметри, інформація), якими характеризується вихід, часто називаються *вихідними сигналами* чорного ящика. Така термінологія прийшла з технічних систем, до яких і було вперше застосовано уявлення про чорний ящик.

При переході до математичних моделей, на математичний рівень опису, такий перетворювач змінних з однієї множини (вхідні характеристики) в іншу (вихідні характеристики) моделюється оператором (функцією).

Відомо математичне визначення оператора: Нехай V і W – якісь множини (наприклад, векторні або лінійні простори).

Оператором A , діючим з V в W , називається відображення виду $A: V \rightarrow W$, яке зіставляє кожному елементу x множини V певний елемент y множини W . Як правило, для оператора використовується позначення $y = A(x)$ або $y = Ax$.

Таким чином, чорний ящик виступає як оператор в тому випадку, коли:

- 1) Параметри, які характеризують вхід чорного ящика, можуть бути згруповані в якусь множину V .
- 2) Параметри, які характеризують вихід чорного ящика, можуть бути згруповані в якусь множину W .
- 3) Задано деяке правило (алгоритм, спосіб перетворення, розрахунку, і т. ін.), яке дозволяє за відомим вхідним сигналом –

значенням x з множини V , розрахувати значення y з множини W вихідних сигналів чорного ящика.

В силу сказаного, чорний ящик виступає як модель досліджуваної системи. А в операторі, яким він моделюється, і укладена, по суті, математична модель елемента, що становить нашу систему. З цієї причини, математичний опис чорного ящика і відсунуто, як правило, на останні етапи моделювання.

Важливим класом операторів є так звані *лінійні оператори*. Хоча сьогодні поле діяльності в моделюванні реальних систем за допомогою лінійних операторів вкрай обмежене, вони, тим не менш, все ще виступають як потужний засіб математичного аналізу систем. Як ми вже писали, моделі систем також являють собою ієрархічну систему логічно пов'язаних термінів і понять. Тому досить часто виявляється, що система, яка описується *нелінійним* чином на певному рівні логічної глибини розуміння, на *більш високому* рівні цілком може бути описана в рамках вже лінійного апарату і *лінійних* операторів. Приклади таких описів будуть приведені в наступних розділах.

Однак повернемося до лінійних операторів і дамо їх визначення.

Оператор A , що діє з V в W , називається лінійним, якщо для будь-яких елементів x_1 і x_2 з множини V і будь-якого комплексного числа μ виконуються співвідношення:

1) $A(x_1 + x_2) = A(x_1) + A(x_2)$ (властивість адитивності оператора), і

2) $A(\mu x) = \mu A(x)$ (властивість однорідності оператора).

Приклади лінійних операторів.

Наведемо кілька прикладів математичних об'єктів, які є лінійними операторами.

Матриця як лінійний оператор.

Звичайна матриця є лінійним оператором, якщо розглядати її як перетворення одного вектор-стовпця x в інший вектор-стовпець, y .

$$y = Ax, x = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \dots \\ x_n \end{bmatrix}, y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \dots \\ y_m \end{bmatrix}, A = \begin{bmatrix} a_1 & \dots & a_n \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_m & \dots & a_{mn} \end{bmatrix}.$$

Дане співвідношення записано для випадку прямокутної матриці оператора A розмірності $m \times n$, що відповідає тому, що множина V являє собою сукупності вектор-стовпців x розмірності $n \times 1$ і W – сукупності вектор-стовпців y розмірності $m \times 1$.

Таким чином, матриця, відома з курсу вищої математики, в рамках економічної кібернетики може розглядатися як лінійний оператор, який моделює ряд властивостей чорного ящика. Зокрема, таким чином, можуть описуватися моделі управління – тоді вектор-стовпець x являє собою необхідну для вирішення інформацію, а вектор-стовпець y – описує саме рішення. Матриця A в цьому випадку – це скорочений запис алгоритму прийняття рішень, який відповідає нашій моделі.

Операція диференціювання як лінійний оператор.

Операція диференціювання – узяття похідної від певної функції – також є лінійним оператором.

В цьому випадку V – це множина всіх (диференційованих потрібну кількість разів!) функцій, а W – це теж множина функцій (але вже диференційованих кількість разів, на одиницю менше, ніж у функцій з множини V !).

Позначаючи елемент множини V через $f(t)$, а оператор A через $\frac{d}{dt}$, легко перевіряємо здійсненність умов 1) і 2) з визначення лінійного оператора.

$$\frac{d(f_1(t) + f_2(t))}{dt} = \frac{df_1(t)}{dt} + \frac{df_2(t)}{dt},$$

$$\frac{d\mu f(t)}{dt} = \mu \frac{df(t)}{dt}.$$

Відзначимо, що, як легко доводиться таким же способом, оператор

$$A = Q(t) \frac{d}{dt},$$

де $Q(t)$ – довільна функція, також є *лінійним*. Підкреслимо, що в останньому випадку першим на функцію $f(t)$ завжди діє диференціювання, а вже потім – множення результату диференціювання на функцію $Q(t)$. Виконання *саме таких* послідовних дій надзвичайно важливо, у чому легко переконатися, порівнюючи результати двох *різних* алгоритмів дій: першого – «спочатку продиференціювати, а вже потім помножити», і другого – «спочатку помножити, а вже потім продиференціювати»!

Операція інтегрування.

З операцією інтегрування, після всього розглянутого вище, питань не виникає: звичайно, вона – взяття невизначеного інтеграла – також є оператором *лінійним*. Власне, про це йшлося ще в рамках курсу вищої математики – але тоді Ви навіть і не підозрювали, що це, по суті, йде розповідь про математичні моделі!

Властивість якогось об'єкта бути «дифференціюючим» (іноді – «різницеvim») або «інтегруючим» (іноді – «підсумовуючим») часто задаються як функції деяких чорних ящиків, які виконують в системі якісь *керуючі функції*. Особливо наочно це для радіосхем, – однак і економічні системи демонструють нам багато таких же прикладів. Що таке банк? – це об'єкт «інтегруючий». Що таке рейтинги – економічні чи соціальні? – це процедура диференціювання.

Насправді, ще багато важливих математичних деталей з описаного прикладу залишилися без відповіді. Але задамося питанням: а чи так вже й потрібні нам ці математичні деталі, чи так уже важливі вони для нас в процесі вирішення практичних завдань?! Отримавши рішення – ми завжди зможемо перевірити, чи задовольняє воно нашому рівнянню і нашим граничним умовам! А математична строгість не завжди-то й потрібна при вирішенні практичних завдань. Тому – сміливо вводіть *нові* математичні операції, терміни і поняття, керуючись лише одним, але головним критерієм: *вони повинні допомагати вирішенню досліджуваного завдання!* Власне, саме так протягом усього розвитку науки і діяли вчені. Сам Олівер Хевісайд застосовував своє літочислення (яке довгий час так і називали – «обчислення Хевісайда»), – математична

строгість була наведена тільки років через 10-15 після його смерті. Поль Дірак – ввів функцію, яка різко відрізнялася від усього, що було відомо раніше математикам: вони пояснили це тільки через 20 років. Ричард Фейнман ввів математичні операції, з якими математики мучаться і досі! Вернер Гейзенберг ввів операції, які допомогли йому пояснити квантові ефекти, – і математики лише потім зрозуміли, що це всім відомі матриці!

5.2.2. Концепція «зворотного зв'язку».

Отже, управління системою ми можемо розглядати як здійснення *переходів* між її станами. Але що таке *стан*? Це, за визначенням, щось *стійке*, – тобто мається на увазі, що параметри, які його характеризують, приймають якісь стаціонарні, незмінні в часі значення. Однак кожна система піддається *випадковим* (або *цілеспрямованим*) *впливам* з боку навколишнього середовища. В цьому випадку ми очікуємо, що система, будучи виведеною з певного (наприклад, рівноважного або стаціонарного) стану, має здатність «мимовільно» повернутися до *стаціонарних* характеристик, тобто в аналізований стан.

А що робити, якщо система не володіє цією властивістю? Щоб відповісти на це питання, поставимо зустрічне: а як же тоді ми можемо говорити про «стан»? Таким чином, приходимо до висновку, що говорити про стан для системи має сенс тільки в тому випадку, коли цей стан є *стійким*. Іншими словами, ми очікуємо, що стан системи повинен мати якісь *межі стійкості*, тобто що при *малій* зміні своїх параметрів (залишаючись все ще *всередині* кордону стійкості) система *залишиться* все в тому ж стані.

Але ж можуть бути ситуації, коли такі межі стійкості для системи є «занадто вузькими», і нам дуже хотілося б їх *розширити*. Чи можна це зробити, і якщо можна, то яким чином?

Для того, щоб відповісти на це питання, потрібно ввести поняття про «керуючу дію». Для того, щоб описати його, зробимо розбиття всієї множини параметрів, що характеризують систему, на два класи. Перший клас: параметри, на які ми не можемо вплинути. Другий клас – це параметри, які ми можемо – в тих чи інших межах – змінювати.

Ось такі параметри, які ми можемо змінювати, і називаються *керуючими*.

Керуючими параметрами називаються такі характеристики системи, які володіють двома властивостями: по-перше, вони можуть бути змінені в потрібну для нас сторону (наприклад, за величиною і знаком) шляхом зовнішніх по відношенню до досліджуваної системи впливів, і, по-друге, вони визначають межі стійкості системи (зокрема – швидкість прагнення *інших* характеристик системи до свого стаціонарного значення, яке характеризує даний *стан системи*). У загальному випадку для кожного стану керуючі параметри будуть різними.

Відзначимо, що ми не пов'язуємо керуючі параметри виключно тільки з процесом *повернення* системи до даного стану. Визначення дано в такому вигляді, що воно допускає і управління *переходом* системи до нового стану. Наприклад, це можливо, коли кордони стійкості системи (в даному стані!) під впливом зовнішнього управління *звужуються* до величини, коли зовнішні випадкові впливи (фактори) вже виводять систему за ці межі.

Як впливає з зробленої вище примітки, ми можемо, в загальному випадку, всі способи управління системою розділити на два альтернативних класи.

- Управління, покликане забезпечити *стійкість системи в даному стані*. Це забезпечується за рахунок так званого *негативного зворотного зв'язку*.
- Управління, покликане забезпечити *переведення системи з одного стану в інший*. Це досягається за рахунок *позитивного зворотного зв'язку*.

Як організований взагалі *зворотний зв'язок*?

Уявімо собі систему. Нехай вона *відхилилася* від свого поточного стану. Про це ми можемо судити по зміні значень ряду параметрів, які її характеризують. Тепер ми змушені приймати рішення – тобто визначати *мету* свого управління: чи сприяти *поверненню* системи до свого початкового стану (негативний зворотний зв'язок – прикметник «негативний» має не тільки

буквальне значення (це ми побачимо нижче!), а й підкреслює, що ми прагнемо *зменшити* ті зміни, які внесені навколишнім середовищем), або ж навпаки, *збільшити* це відхилення з тим, щоб система перейшла до *нового* стану (позитивний зворотний зв'язок: знову прикметник «позитивний» має не тільки буквальний сенс, але також і символічний, що підкреслює наше прагнення *збільшити* відхилення, що мають місце в системі).

По суті, *позитивний* і *негативний* зворотний зв'язок утворюють тим самим *контур управління*, що має замкнутий вид за рахунок появи можливості дозування керуючих впливів і аналізу їх результатів.

Відомо всього два ефективних – і взаємодоповнюючих! – способи управління людьми в соціальних і економічних структурах: це методи «батога» і «пряника». По суті – вони часто трансформуються в методи *заохочення* і *покарання*. Це – здійснення все того ж самого позитивного або негативного зворотного зв'язку. Заохочення відповідає негативному зворотному зв'язку, що *фіксує* ті чи інші дії співробітника, тобто – *заохочують* його до *продовження* поточної своєї діяльності. Тепер ми можемо сказати – заохочення *стимулює* його перебування в даному стані. Покарання – навпаки: заохочує його змінити свій поточний стан на інший. До речі: тепер нам стають ясними також і причини наявності *саме цих двох* систем управління окремою людиною, – це оптимальний набір, що дозволяє здійснювати ефективне управління його діяльністю і поведінкою. Використання *тільки одного* з цих методів означає, тим самим, *неефективність* управління. В ефективно працюючій фірмі повинні бути чітко зафіксовані як способи заохочення, так і способи покарання співробітників. Звичайно, при цьому і заохочення, і покарання повинні ставитися *виключно тільки* до тієї області, результати якої залежать від *особистої* діяльності даного співробітника, – тобто визначаються тим станом, в якому знаходиться *даний* співробітник. Нерозуміння цієї обставини – коли співробітник карається або заохочується не за *свої особисті* дії, призводить до неефективності управління економічними системами.

Перейдемо тепер до математичної форми опису сказаного вище.

Лінійний випадок - модель Мальтуса.

Розглянемо систему, яка характеризується лише одним параметром x – такі системи називаються однокомпонентними. Нехай стан системи характеризується його значенням x_0 . Через зовнішні впливи система змінилася і стала характеризуватися значенням параметра x_1 . Найбільш простий випадок управління – коли ми реалізували такі умови, що швидкість зміни параметра виявляється пропорційною відхиленню від його рівноважного (стаціонарного) значення x_0 .

Математично це можна записати так:

$$\frac{dx}{dt} = \gamma(x - x_0) \text{ або } \frac{d\Delta x}{dt} = \gamma\Delta x, \text{ где } \Delta x = x - x_0.$$

Зручніше записувати це рівняння відразу щодо зміни характеристики – тобто зміни параметра системи Δx .

У рівнянні γ – це так званий *керуючий параметр*, який також характеризує систему, і який ми можемо змінювати як за величиною, так і за знаком – наприклад, зробити його або позитивним, або негативним – за допомогою зовнішніх (керуючих) впливів.

Рішення рівняння записується у вигляді

$$\Delta x = (x_1 - x_0)e^{\gamma t} \text{ або } x = x_0 + (x_1 - x_0)\exp(\gamma t).$$

Тут x_1 – значення характеристики x (відхилення від рівноваги) при $t = 0$, тобто – в початковий момент часу.

З рішення видно, що при $\gamma > 0$ система буде все більш віддалятися від свого рівноважного стану, що характеризується значенням x_0 . Навпаки, при $\gamma < 0$ система буде повертатися до свого рівноважного стану. Таким чином, в першому випадку – при $\gamma > 0$ – має місце *позитивний* зворотний зв'язок, а при $\gamma < 0$ – *негативний* зворотний зв'язок.

Швидкість, з якою буде здійснюватися це видалення/наближення, залежить від абсолютної величини керуючого параметра – від $|\gamma|$. Чим більше ця величина, тим швидше система видаляється/повертається до рівноважного стану.

Отже, в рамках цієї математичної моделі ми отримуємо можливість регулювати – тобто управляти системою за допомогою:

1. Створення позитивного/негативного зворотного зв'язку.
2. Зміни *сили* цього зворотного зв'язку (величини модуля керуючого параметра) $|\gamma|$.

Прикладом даного рівняння, що описує *реальну* соціально-економічну ситуацію, є так звана *модель Мальтуса* для чисельності населення. В її основу закладено «просте і природне» припущення: приріст кількості людей пропорційний їх наявній кількості. У цьому випадку рівняння, що описує *відхилення системи* від деякого *початкової* кількості людей N_0 , може бути записано так: $dN/dt = \gamma N$. Звичайно, тут $\gamma > 0$, щоб мав місце саме *приріст*, а не спад населення. Рішення цього рівняння має вигляд $N(t) = N_0 \exp(\gamma t)$, - вважається, що при $t = 0$ чисельність населення становила N_0 . Як видно з рішення, чисельність населення в такій моделі стрімко наростає, – період *подвоєння* кількості населення може бути розрахований за формулою $T = \ln 2 / \gamma$: за демографічними статистичними даними цей період часу сьогодні становить 40 років. У моделі Мальтуса ми отримали зростання населення в *геометричній* прогресії. Разом з тим відомо, що ресурси, якими володіє та чи інша країна (та й вся планета в цілому!) зростають в *арифметичній* прогресії. Але тоді приходимо до висновку, що, у міру закінчення часу, зростання населення відбувається швидше, ніж приріст ресурсів! Іншими словами, відносна кількість ресурсів - кількість ресурсів, що припадають на одну людину - з плином часу буде зменшуватися. У цьому, власне, і полягає висновок теорії Мальтуса. Цей висновок він зробив на початку XIX століття, а в кінці XX століття до цього ж висновку прийшли і вчені, що сформували неформальну організацію під назвою «Римський клуб». Звичайно, прийшли вони до нього, використовуючи набагато більш «витончені» теоретичні і математичні моделі. Власне, саме в такий простій моделі, яка виявилася напрочуд *мало чутливою* до наступних уточнень, і криються причини почастишання закликів до обмеження народжуваності (тобто до зменшення керуючого параметра γ).

Звичайно, це не вирішить проблеми - але хоча-б дасть час на прийняття рішень. Може бути, домогтися, щоб $\gamma=0$ – хоча б в масштабах всієї планети? Однак, як легко бачити, це значення є *нестійким*: як тільки γ стане позитивним – почнеться знову зростання населення, а як тільки воно стане негативним – кількість населення почне зменшуватися. Звичайно, це відбудеться не відразу – але така організація управління зачіпає вже *все населення Землі*, і тому вимагає *абсолютно нових способів управління і координації в масштабах всієї планети*. Здійснити це сьогодні *неможливо*. Так що ж робити ?! Перш за все – вивчати цю проблему, будувати нові моделі, розглядати нові можливі сценарії розвитку подій.

Нелінійний зворотний зв'язок – модель Ферхюлста.

Вище був описаний випадок, коли система *відхилялася* від свого початкового положення і стрімко віддалялася від нього, в рамках цієї моделі, як завгодно далеко. Однак ми очікуємо – у всякому разі, моделі систем будуються саме з розрахунку на це – що, рано чи пізно, наша система перейде в *новий* стан. Іншими словами, тепер перед нами стоїть завдання про математичний опис *переходу* системи з одного стану в інший.

Для побудови такої моделі задамося питанням: а чому взагалі можливо «гальмування» зміни характеристики системи? Наприклад, це можна зробити наступним чином: як тільки значення характеристики системи x почне наближатися до потрібного нам новому значенню x_2 , значення керуючого параметра γ має зменшуватися і досягати нульового значення при $x = x_2$.

Іншими словами, для опису управління *переводу* системи в новий стан, ми повинні розглянути випадок, коли є залежність керуючого параметра від поточних характеристик системи. Як правило, ми отримуємо при цьому *нелінійні* диференціальні рівняння.

Наприклад, для нашого рівняння його модифікація виглядає так:

$$\frac{dx}{dt} = \gamma(x)x.$$

Найпростіший випадок - це коли $\gamma(x) = 1 - x$, і ми отримуємо рівняння, зване рівнянням Ферхюлста або *логістичним* рівнянням (до

такого виду можна привести за допомогою перетворення координат будь-яку лінійну залежність керуючого параметра від характеристики системи)

$$\frac{dx}{dt} = (1 - x)x.$$

Неважко бачити, що це рівняння описує *перехід* системи з «нестійкого» стану $x = 0$ в стійкий стан $x = 1$ – розглядаються тільки *позитивні* значення x .

У найзагальнішому випадку, *відхилення* від рівноважного – тобто від *стійкого* стану – описуються найчастіше в рамках лінійного підходу. Якщо навіть і розглядаються *нелінійні* добавки, то вони покладаються, в певному сенсі, «малими» в порівнянні з лінійними членами. Тому можна зробити висновок: для управління за допомогою *негативного* зворотного зв'язку досить, як правило, *лінійного* опису. Оскільки лінійні методи в математиці добре розвинені, тому і не дивно, що основні успіхи в кібернетиці (особливо – в кібернетиці технічній) досягнуті саме в галузі управління системами з метою *збереження* їх поточного стану. Разом з тим в області кібернетики *економічної* безліч завдань носить абсолютно протилежний характер: необхідно управляти *процесом* *переводу* досліджуваної системи в той стан, який нам потрібно. Отже, основним об'єктом вивчення в економічній кібернетиці є *нелінійні* математичні моделі. Математичний апарат для їх дослідження дуже складний, з цієї причини і результатів досягнуто не так багато. Втім, в рамках технічної кібернетики для нелінійних задач результатів також досягнуто вельми мало.

Рішення рівняння Ферхюльста можна записати у вигляді

$$x(t) = \frac{x_0 e^t}{1 + x_0 e^t}.$$

Тут x_0 через позначено значення характеристики системи в початковий момент часу, при $t=0$. З рішення випливає, що при $t \rightarrow \infty$, $x(t) \rightarrow 1$.

Виникає питання: а чи можемо ми говорити в цьому випадку про наявність *зворотного зв'язку* взагалі? Може бути, було б більш

коректно говорити про *модель* системи? Багато що залежить від того, яке завдання ми вирішуємо, тобто *від мети* нашого дослідження. Як правило, питання про побудову моделі системи – це не більше ніж етап в підготовці і виборі системи управління даним соціальним чи економічним об'єктом. Ця думка стане більш зрозумілою в тому випадку, коли рівняння Ферхюльста запишеться в *розмірній* формі, – тобто так, як воно зазвичай і виходить при моделюванні:

$$\frac{dx}{dt} = ax - bx^2 = ax \left(1 - \frac{b}{a}x\right).$$

У такій формі запису явно введені *керуючі параметри* a і b , за допомогою зміни яких ми можемо управляти як кінцевим станом системи, так і процесом його досягнення.

Інтерпретація та узагальнення моделі Ферхюльста: "квота вилову" як модель оптимального управління.

Модель Ферхюльста з'явилася як найпростіше узагальнення моделі Мальтуса на наявність «природних обмежень» на народжуваність, що призводять до загибелі індивідів. Цією моделлю часто описують розмноження біологічних об'єктів різного роду – від бактерій і до вищих організмів – таких, як риби.

У зв'язку з останнім і розглянемо на прикладі риб *організацію системи управління* їх чисельністю з урахуванням вилову. Таке завдання відображає наше природне бажання використовувати ресурс – в даному випадку рибу – для своїх потреб. При цьому, однак, ми хочемо здійснити *управління кількістю риб* таким чином, щоб досягти максимально можливого вилову без того, щоб риби зникли. Таким чином, ми будемо розглядати задачу про оптимальне використання природного ресурсу. При цьому під терміном *оптимальність* розуміється, що 1) риби потрібно виловлювати якнайбільше, але 2) ресурс не повинен вичерпуватися.

Оскільки наше втручання є *зовнішнім* по відношенню до системи, рівняння Ферхюльста $\frac{dx}{dt} = (1 - x)x$ потрібно модифікувати.

Розглянемо дві найпростіші можливості для модифікації.

Перш за все – ми можемо відловлювати рибу з *постійною швидкістю*, позначеною β (кількість риби, що виловлюються в одиницю часу, наприклад, щорічно). У цьому випадку рівняння Ферхлюста набуде вигляду

$$\frac{dx}{dt} = (1 - x)x - \beta = -\left(x - \frac{1}{2}\right)^2 - \left(\frac{1}{4} - \beta\right).$$

З цього рівняння випливає, що при $\beta > \frac{1}{4}$ кількість риби може тільки зменшуватися, бо при цьому похідна буде завжди негативна. Іншими словами, якщо ми відловлюємо *щорічно* (в якості природного проміжку часу зручно вибрати 1 рік – час репродуктивного циклу риби) більш ніж 25% від *стаціонарно* можливої кількості риби (тобто тих, які були б без вилову, – в наших позначеннях їх кількість дорівнює 1), то рибний ресурс буде виснажений, тобто кількість риби добігає до нуля. При $0 > \beta < \frac{1}{4}$ – рибний ресурс встановиться на деякому рівні, що становить якусь *частину* від максимально можливого $x = 1$. При цьому, однак, максимальна квота вилову $\beta = 1/4$ є нестійкою (будь-яке її як завгодно мале перевищення призведе до зникнення системи – риби), і тому повинна бути визнана *неприпустимою*.

Може бути, спробуємо організувати вилов риби по-іншому? Наприклад, будемо задавати квоту вилову як величину, пропорційну вже наявній кількості риби? Тоді отримаємо рівняння

$$\frac{dx}{dt} = (1 - x)x - px = (1 - p)x - x^2.$$

Тут величина px задає швидкість вилову риби β . З отриманого рівняння, очевидно, що мають місце нерівності $0 < p < 1$. При цих умовах *стаціонарна* кількість риби встановлюється на рівні $x = B$, де B знаходиться як розв'язок рівняння $(1 - x)x = px$. Швидкість вилову тоді може бути розрахована за формулою $\beta = pB$. Задамося питанням: коли ця швидкість може бути *максимальною*? Відповідь на це питання найлегше знайти з геометричних міркувань. Точка B знаходиться як перетин графіка квадратичної параболи $(1 - x)x$ і прямої px . Найбільше значення швидкості вилову $\beta = px$ дорівнює

найбільшій ординаті графіка функції $(1 - x)x$, а це досягається при $x = 1/2$. При цьому значення $p = 1/2$ (необхідно, щоб значення px дорівнювало $1/4$ - максимального значення функції $(1 - x)x$, яке досягається при $x = 1/2$. А це досягається, в свою чергу, при $p = 1/2$.

Таким чином, для нашої задачі максимальна швидкість вилову риби встановлюється на рівні $\beta = 1/4$, однак тепер, як легко бачити з останнього рівняння, при цьому встановлюється *стійка* кількість риби.

Ось ми і навели приклад ситуації, коли розгляд різних сценаріїв управління системою – в нашому випадку це були різні сценарії вилову риби – дозволяє досягти *стійкого* переведення системи в новий стан. Звичайно, важливі для практики завдання не будуть, швидше за все, мати такий простий вигляд – проте загальна *методологія* їх рішень буде такою ж: спочатку підбираємо відповідну *модель системи* і формулюємо для неї *базову* математичну модель. А потім – досліджуємо різні *способи управління*, які можуть бути здійснені в рамках цієї моделі. Часто для цього доводиться явно виділяти ті допущення, які були покладені в основу базової моделі, і досліджувати, чи можемо ми від них відмовитися – і як при цьому зміниться математична модель, як системи, так і управління цією системою.

Перейдемо тепер до розгляду більш загальних моделей і завдань.

5.2.3. Найпростіша задача виробничого планування.

Нехай є деякий економічний об'єкт (підприємство, цех, артіль і т. ін.), який може виробляти деяку продукцію n видів. В процесі виробництва допустимо використання m видів ресурсів (сировини). Застосовувані технології характеризуються нормами витрат одиниці сировини на одиницю виробленого продукту. Позначимо через кількість i -го ресурсу ($i=1, \dots, m$), який витрачається на виробництво одиниці j -го продукту ($j=1, \dots, n$). Тоді всі ресурсні витрати a_{ij} розглянутого підприємства (об'єкта) на виготовлення продукції можна представити у вигляді прямокутної матриці A розмірності m на n :

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} \dots a_{1j} \dots a_{1n} \\ a_{21} \dots a_{2j} \dots a_{2n} \\ a_{31} \dots a_{3j} \dots a_{3n} \\ \dots \dots \dots \\ a_{m1} \dots a_{mj} \dots a_{mn} \end{bmatrix}.$$

Тут вектор-стовпець

$$a^j = \begin{bmatrix} a_{1j} \\ a_{2j} \\ a_{3j} \\ \dots \\ a_{mj} \end{bmatrix}$$

матриці A є все ресурсні витрати у виробництві j -го продукту, а вектор-рядок $a_i = (a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{in})$ матриці A – витрати i -го ресурсу на всю продукцію, що випускається.

Якщо j -й продукт виробляється в кількості x_j , то в рамках описаних вище технологій ми повинні витратити $a_{1j}x_j$ першого ресурсу $a_{2j}x_j$, – другого, і так далі $a_{mj}x_j$, – m -го. Зведений план виробництва по всіх продуктах може бути представлений у вигляді n -мірного вектора-рядка $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ (або вектора-стовпця). Тоді загальні витрати по i -му ресурсу на виробництво всіх продуктів можна виразити у вигляді суми $\sum_{j=1}^n a_{ij}x_j$, що представляє собою скалярний добуток i -го вектора-рядка a_i матриці A і вектора-стовпця x . Очевидно, що будь-яка реальна виробнича система має обмеження на ресурси, які вона витрачає в процесі виробництва. В рамках моделі, що викладається, ці обмеження породжуються m -мірним вектором-рядком $b = (b_1, b_2, \dots, b_m)$ (або вектором-стовпцем) де b_i – максимальна кількість i -го ресурсу, який можна витратити в виробничому процесі. У математичній формі дані обмеження представляються у вигляді системи m нерівностей:

цільова функція і одночасно задовольняє системі обмежень (5.2)–(5.3). Коротко таке завдання (оптимізація цільової функції) можна записати в наступному вигляді:

$$f(x) = c \cdot x \rightarrow \max, \text{ где } x \in D = \{x \in R^n | A \cdot x \leq b, x \geq 0\}. \quad (5.5)$$

Незважаючи на явну умовність ситуації, що розглядається і уявну простоту завдання (5.5), її рішення є далеко не тривіальним і багато в чому стало практично можливим тільки після розробки спеціального математичного апарату. Істотним достоїнством використовуваних тут методів вирішення є їх універсальність, оскільки до моделі (5.5) можуть бути зведено багато як економічних, так і неекономічних проблем.

5.2.4. Транспортна задача.

Розглянемо проблему організації перевезення певного продукту між пунктами його виробництва, кількість яких одно m , і n пунктами споживання. Кожен i -й пункт виробництва ($i=1,2,\dots, m$) характеризується запасом продукту, $a_i \geq 0$, а кожен j -й пункт споживання ($j = 1,2, \dots, n$) – потребою в продукті $b_j \geq 0$. Мережа доріг, що з'єднує систему розглянутих пунктів, моделюється за допомогою матриці C розмірності m на n , елементи якої c_{ij} представляють собою норми витрат на перевезення одиниці вантажу з пункту виробництва i в пункт споживання j . План перевезення вантажу в даній транспортній мережі представляється у вигляді масиву елементів розмірності $m \times n$:

$$x = (x_{11}, \dots, x_{1n}, x_{21}, \dots, x_{2n}, \dots, x_{i1}, \dots, x_{in}, \dots, x_{m1}, \dots, x_{mn}). \quad (5.6)$$

В (5.6) план перевезень x може розглядатися як вектор, що розпадається на m груп, по n елементів у кожній, причому i -а група відповідає обсягам вантажу, що вивозяться з i -го пункту виробництва в усі можливі пункти споживання. Якщо реальне перевезення між пунктами i та j відсутнє, то вважають $x_{ij} = 0$.

Обмеження на можливі значення $x \in R^{mn}$ мають вигляд:

1. Обмеження на задоволення потреб у всіх пунктах споживання:

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} \geq b_j, (j = 1,2, \dots, n). \quad (5.7)$$

2. Обмеження на можливості вивезення запасів з усіх пунктів виробництва:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \leq a_i, (i = 1, 2, \dots, m). \quad (5.8)$$

3. Умови невід'ємності компонентів вектора плану x :

$$x_{ij} \geq 0, (i = 1, 2, \dots, m)(j = 1, 2, \dots, n).$$

Суттєвою характеристикою описуваної моделі є співвідношення параметрів a_i і b_j . Якщо сумарний обсяг виробництва дорівнює сумарному обсягу споживання, а саме,

$$\sum_{i=1}^m a_i = \sum_{j=1}^n b_j,$$

то система називається *збалансованою*. При виконанні умови збалансованості розумно накладати такі обмеження на сумарний ввезення і вивезення вантажу, при яких повністю вивозиться весь вантаж і не залишається незадоволених потреб, тобто умови (5.7) і (5.8) набувають форму рівнянь.

За аналогією з завданням виробничого планування припустимо, що витрати на перевезення прямо пропорційні кількості вантажу, що перевозиться. Тоді сумарні витрати на перевезення в системі будуть мати вигляд:

$$f(x) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} \cdot x_{ij}. \quad (5.9)$$

Цільова функція (5.9) і описані вище обмеження, записані в формі

$$D = \left\{ x \in R^{m \cdot n} \left| \sum_{i=1}^m x_{ij} = b_j, j = 1, 2, \dots, n; \sum_{j=1}^n x_{ij} = a_i, i = 1, 2, \dots, m; x_{ij} \geq 0 \right. \right\}$$

задають *транспортну збалансовану модель*. На її основі може бути сформульована оптимізаційна задача мінімізації сумарних витрат на перевезення:

$$f(x) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} \cdot x_{ij} \rightarrow \min, x \in D, \quad (5.10)$$

яка в літературі отримала назву *транспортної збалансованої задачі в матричній постановці*.

Як ми вже говорили, практично всяке завдання математичного моделювання є оптимізаційним, тобто полягає у виборі серед

деякої множини допустимих стратегій тих, які можна в тому чи іншому сенсі кваліфікувати як оптимальні для значення цільової функції, яка відбиває мету управління системою. Всі завдання прийняття оптимальних рішень можна класифікувати відповідно до виду цільової функцій, розмірності і змісту векторів a і x , що відображають відповідно неконтрольовані і керовані параметри.

Найбільш просту групу завдань дослідження операцій складають такі завдання, в яких неконтрольованих факторів немає, або є тільки фіксовані неконтрольовані фактори, а критерій ефективності (як правило, однокритеріальний) задається числовою функцією.

Розділ прикладної математики, присвячений вивченню подібних завдань, називається *математичним програмуванням*, а самі завдання – *завданнями математичного програмування*. В даному випадку поняття програмування вживається в значенні *планування* (на відміну від програмування для ЕОМ).

5.2.5. Моделювання банківських операцій.

Будь-яка фінансово – кредитна операція, інвестиційний проект або комерційна угода передбачають наявність ряду умов їх виконання, з якими згодні сторони, що беруть участь в них. До цих умов відносяться такі кількісні дані: грошові суми, тимчасові параметри, процентні ставки і деякі інші додаткові величини. Кожна з перерахованих характеристик може бути представлена самим різним чином. Наприклад, платежі можуть бути одноразовими (разовими) або в розстрочку, постійними або змінними в часі. Існує більше десятка видів процентних ставок і методів нарахування відсотків. Час встановлюється у вигляді фіксованих термінів платежів, інтервалів надходжень доходів, моментів погашення заборгованості і таке інше. В рамках однієї фінансової операції перераховані показники утворюють деяку взаємопов'язану систему (фінансову проблему), підпорядковану відповідній логіці. У зв'язку з множинністю параметрів такої системи кінцеві конкретні результати (крім елементарних ситуацій) часто не очевидні. Більш того, зміна значення навіть однієї величини в системі в більшій чи в меншій мірі,

але обов'язково позначиться на результатах відповідної операції. Звідси з очевидністю випливає, що такі системи можуть і повинні бути об'єктом кількісного фінансового аналізу – об'єктом математичного моделювання. Перевірені практикою методи такого математичного моделювання і вирішення фінансових проблем складають предмет фінансової математики.

Кількісний фінансовий аналіз застосовується як в умовах визначеності, так і невизначеності. У першому випадку мається на увазі, що дані для побудови математичної моделі фінансової операції заздалегідь відомі і фіксовані, наприклад, при випуску звичайних облігацій однозначно обумовлюються всі параметри – термін, купонна прибутковість, порядок викупу. Побудова математичної моделі фінансової операції помітно ускладнюється, коли доводиться враховувати невизначеність – динаміку грошового ринку (рівень процентної ставки, коливання валютного курсу), поведінку контрагента.

До основних завдань фінансової математики при побудові математичних моделей фінансових операцій відносяться:

- вимір кінцевих фінансових результатів операції (угоди, контракту) для кожної з сторін-учасниць;
- розробка планів виконання фінансових операцій, в тому числі планів погашення заборгованості;
- вимір залежності кінцевих результатів операції від основних її параметрів;
- визначення допустимих критичних значень цих параметрів і розрахунок параметрів еквівалентної (беззбиткової) зміни початкових умов операції.

Величезне значення в фінансових розрахунках, а, отже, і в математичних моделях банківських операцій, відіграє фактор часу. У практичних фінансових операціях суми грошей незалежно від їх призначення або походження, так чи інакше, але обов'язково, пов'язують з конкретними моментами часу або періодами часу. Для цього в контрактах фіксуються відповідні терміни, дати, періодичність виплат. Фактор часу, особливо в довгострокових

операціях, грає не меншу, а іноді навіть і більшу роль, ніж розміри грошових сум. Необхідність обліку тимчасового чинника в математичному моделюванні впливає із сутності фінансування, кредитування та інвестування і виражається в принципі нерівноцінності грошей, що належать до різних моментів часу, або в іншому формулюванні – принципі зміни цінності грошей у часі. Так, Ви все на своєму життєвому досвіді переконалися, що 1000 гривень, отримані через 5 років, не рівноцінні цій же сумі, що надійшла сьогодні, навіть, якщо не брати до уваги інфляцію і ризик їх неотримання. При наявності інфляції вплив фактора часу багаторазово посилюється.

Методи кількісного аналізу фінансових операцій істотно залежать від науково-технічного прогресу. Останнім часом багато нововведень прямо або побічно пов'язані з комп'ютеризацією фінансово-банківської діяльності. Можливості комп'ютеризації та досягнення в ряді областей знань (системний аналіз, інформатика, експертні системи, лінійне і нелінійне програмування та інше) дозволили помітно осучаснити як технологію фінансово-банківської справи, так і вживаний в кількісному фінансовому аналізі фінансово математичний, аналітичний апарат.

Знання методів, застосовуваних у фінансовій математиці, необхідно при безпосередній роботі в будь-якій сфері фінансів і кредиту, в тому числі і на етапі розробки умов контрактів. Не можна обійтися без них при фінансовому проектуванні, а також при порівнянні та виборі довгострокових інвестиційних проектів. Фінансові обчислення (математичні моделі) є необхідною складовою розрахунків в довгостроковому особистому страхуванні, наприклад проектуванні та аналізі стану пенсійних фондів (розрахунок тарифів, оцінка здатності фондів виконувати свої зобов'язання перед пенсіонерами і так далі), довгостроковому медичному страхуванні.

Як приклад математичного моделювання банківських операцій розглянемо *дісконтування* – це приведення вартості грошової суми, віднесеної до майбутнього моменту часу, до вартості на поточний момент часу. Це робиться, наприклад, при **економічній оцінці**

ефективності інвестицій, обліку векселів або при дохідному підході до оцінки вартості бізнесу.

Дисконтування відображає той економічний факт, що сума грошей, яку ми маємо зараз, має велику реальну вартість, ніж рівна їй сума, яка з'явиться в майбутньому. Це обумовлено декількома причинами, наприклад:

- Наявна сума може принести прибуток, наприклад, будучи покладена на депозит в банку.
- Купівельна спроможність наявної суми буде зменшуватися через інфляцію.
- Завжди є ризик неотримання передбачуваної суми.

Термін «дисконтування» вживається і в більш широкому сенсі – як засіб визначення будь-якої вартісної величини, що відноситься до майбутнього, на більш ранній момент часу.

Залежно від виду процентної ставки застосовуються два методи дисконтування – математичне дисконтування і банківський (комерційний) облік. У першому випадку застосовується ставка нарощення, тобто ефективна процентна ставка, у другому – облікова ставка.

Математичне дисконтування.

Припустимо, що в майбутньому, в момент часу $t > 0$, ми повинні будемо виплатити деяку суму $C(t)$. Визначимо якою сумою $C(0)$ потрібно володіти в даний час $t_0 = 0$, щоб виплатити суму $C(t)$, якщо ефективна процентна ставка нарахування відсотків за одиницю часу дорівнює i і з плином часу не змінюється.

Під *ефективною процентною ставкою* i розуміється відносна величина доходу за розглянутий проміжок часу $(t, t + \Delta t)$ – відношення доходу (процентних грошей) до суми боргу: $i = \Delta C(t) / C(t)$. На основі домовленої ефективної процентної ставки i сума доходу на тимчасовому інтервалі Δt складі $\Delta C(t) = C(t) \cdot i$. На практиці ефективну процентну ставку прийнято виражати у відсотках: $i\% = i \cdot 100\%$. Наприклад, $i\% = 22\%$, отже, ефективна процентна ставка $i = 0,22$. Ефективна процентна ставка один з

найважливіших елементів комерційних, кредитних або інвестиційних контрактів. Вона не залежить від величини інвестованої суми, а визначається ефективністю з якою інвестуються гроші, приносять прибуток (дохід) на одну вкладену грошову одиницю.

Існують дві схеми обчислення доходу $\Delta C(t)$ на об'єднаному інтервалі $\Delta t = \Delta t_1 + \Delta t_2$, метод простих і складних відсотків:

1. Принцип *простих відсотків* припускає, що відсотки на першому Δt_1 і другому Δt_2 тимчасових інтервалів нараховуються тільки на основний капітал $C(t)$, тобто $\Delta C_1(t) = C(t) \cdot i_1$, $\Delta C_2(t) = C(t) \cdot i_2$. Тому $\Delta C(t) = \Delta C_1(t) + \Delta C_2(t) = C(t) \cdot (i_1 + i_2)$. Відповідно, підсумкова процентна ставка j на часовому проміжку $\Delta t = \Delta t_1 + \Delta t_2$ складе $j = \Delta C(t) / C(t) = i_1 + i_2$.

Якщо сума $C(t)$ інвестується не на два, а на n послідовних проміжків часу $\Delta t_1, \Delta t_2, \dots, \Delta t_n$, з ефективними процентними ставками $i_1, i_2, \dots, i_n$ відповідно, то капітал $C(t)$ за проміжок часу $\Delta t = \Delta t_1 + \Delta t_2 + \dots + \Delta t_n$ перетвориться в суму

$$C(t + \Delta t) = C(t) \cdot (1 + i_1 + i_2 + \dots + i_n), \quad (5.11)$$

і дохід (відсотки) на часовому інтервалі $\Delta t = \Delta t_1 + \Delta t_2 + \dots + \Delta t_n$ складе

$$\Delta C(t) = C(t + \Delta t) - C(t) = C(t) \cdot (i_1 + i_2 + \dots + i_n),$$

а підсумкова процентна ставка $j = i_1 + i_2 + \dots + i_n$.

За умови рівних процентних ставок $i_1 = i_2 = \dots = i_n = i$ на всіх часових проміжках $\Delta t_1 = \Delta t_2 = \dots = \Delta t_n = \Delta t_0$ нарахування відсотки $\Delta C(t)$ за проміжок часу $\Delta t = n \cdot \Delta t_0$ складуть $\Delta C(t) = C(t) \cdot n \cdot i$, а підсумкова процентна ставка $j = n \cdot i$, де $n = t / \Delta t_0$ – кількість, укладених в часі t нарахування відсотків за ставкою i проміжків Δt_0 .

2. Принцип *складних відсотків* передбачає, що відсотки на другому часовому проміжку Δt_2 нараховуються не тільки на основний капітал $C(t)$, а й на вже зароблені відсотки $\Delta C_1(t)$ на першому часовому інтервалі Δt_1 . Тому в кінці другого інтервалу часу Δt_2 основний капітал $C(t)$ виросте до величини

$$C(t + \Delta t) = C(t) + C(t) \cdot i_1 + (C(t) + C(t) \cdot i_1) \cdot i_2 = C(t) \cdot (1 + i_1) \cdot (1 + i_2).$$

Відповідно, підсумкова процентна ставка j на часовому проміжку $\Delta t = \Delta t_1 + \Delta t_2$ визначається з умови

$$1 + j = (1 + i_1) \cdot (1 + i_2), \text{ Т. Е. } j = i_1 + i_2 + i_1 \cdot i_2.$$

Якщо сума $C(t)$ інвестується нема на два, а на n послідовних проміжків часу $\Delta t_1, \Delta t_2, \dots, \Delta t_n$, з ефективними процентними ставками $i_1, i_2, \dots, i_n$ відповідно, то капітал $C(t)$ за проміжок часу $\Delta t = \Delta t_1 + \Delta t_2 + \dots + \Delta t_n$ перетвориться в суму

$$C(t + \Delta t) = C(t) \cdot (1 + i_1) \cdot (1 + i_2) \cdot \dots \cdot (1 + i_n), \quad (5.12)$$

і процентні гроші на часовому інтервалі $\Delta t = \Delta t_1 + \Delta t_2 + \dots + \Delta t_n$ складуть

$$\Delta C(t) = C(t + \Delta t) - C(t) = C(t) \cdot ((1 + i_1) \cdot (1 + i_2) \cdot \dots \cdot (1 + i_n) - 1),$$

а підсумкова процентна ставка $j = (1 + i_1) \cdot (1 + i_2) \cdot \dots \cdot (1 + i_n) - 1$.

За умови рівних процентних ставок $i_1 = i_2 = \dots = i_n = i$ на всіх часових проміжках $\Delta t_1 = \Delta t_2 = \dots = \Delta t_n = \Delta t_0$ нарахування відсотків $\Delta C(t)$ за проміжок часу $\Delta t = n \cdot \Delta t_0$ складуть $\Delta C(t) = C(t) \cdot ((1 + i)^n - 1)$, а підсумкова процентна ставка $j = (1 + i)^n - 1$.

Розгляд почнемо з дисконтування за простою ставкою. Тоді з формули накопичення за простими відсоткам $C(t) = C(0) \cdot (1 + t \cdot i)$ випливає, що для того, щоб в момент часу t можна було б виплатити суму $C(t)$ в початковий момент часу $t_0 = 0$ необхідно володіти сумою $C(0) = C(t) \cdot (1 + t \cdot i)^{-1}$. Величину $r_n(t, i) = (1 + t \cdot i)^{-1}$ називають *дисконтним* або *дисконтуючим множителем* за ставкою нарощення простих відсотків.

Тепер перейдемо до розгляду, коли нарахування відсотків при математичному дисконтуванні відбувається по складній процентній ставці i , яка з плином часу не змінюється. У цьому випадку, щоб до моменту t мати в точності суму $C(t)$ в даний час $t_0 = 0$ потрібно мати у своєму розпорядженні суму $C(0) = C(t) \cdot (1 + i)^{-t}$, так як після інвестування на час t сума $C(0)$ перетвориться в суму $C(0) \cdot (1 + i)^t = C(t)$. Величину $r_c(t, i) = (1 + i)^{-t} = v^t$ називають *дисконтним* або *дисконтуючим множителем* за ставкою нарощення складних відсотків. Величину $v = (1 + i)^{-1}$ називають *коефіцієнтом дисконтування (обліку)* по складним відсоткам. З її допомогою формулу для наведеної (сучасної) вартості $C(0)$ по складним відсоткам можна записати у вигляді $C(0) = C(t) \cdot v^t$. Величину v можна висловити і через інтенсивність відсотків: $\delta = \ln(1 + i)$:

$v = (1 + i)^{-1} = \exp(-\delta)$. Дисконтуючий множник $r_c(t, i) = (1 + i)^{-t}$ за складними процентами відрізняється від множника $r_n(t, i) = (1 + t \cdot i)^{-1}$ за складними відсотками.

Дисконтуючий множник $r(t, i)$ по ефективній процентній ставці показує, яку частку становить первісна величина суми $C(0)$ в остаточній сумі $C(t)$: $r(t, i) = C(0)/C(t)$.

Як було вже сказано, різницю $\Delta C(t) = C(t) - C(0)$ можна розглядати не тільки як відсотки, нараховані на $C(0)$ за час t , а й як дисконт з суми $C(t)$. За допомогою дисконтуючого множника $r(t, i)$ дисконт $\Delta C(t) = C(t) - C(0) = C(t) \cdot (1 - r(t, i))$. Відповідно для простих відсотків $\Delta C(t) = C(t) \cdot (1 - (1 + t \cdot i)^{-1}) = \frac{C(t) \cdot t \cdot i}{(1 + t \cdot i)}$, для складних – $\Delta C(t) = C(t) \cdot (1 - (1 + i)^{-t}) = C(t) \cdot (1 - v^t)$.

Грошові суми $C(t)$ в момент t і $C(0)$ в момент $t_0 = 0$ називаються еквівалентними за ставкою порівняння i , а формула порівняння грошових сум $C(t_0) = C(t) \cdot r(t, i)$ (либо $C(t) = C(t_0) \cdot M(t, i)$) в будь-які моменти часу t і t_0 називається математичним дисконтированием по дискретній процентній ставці.

У разі, коли процентна ставка i з плином часу безперервно змінюється і для нарахування по складним відсоткам необхідно застосовувати безперервну процентну ставку тоді дисконтуючий множник $r(t, \delta) = \exp\left(-\int_{t_0}^t \delta(z) dz\right)$. Дана операція зворотна безперервному нарахуванню називається *безперервним математичним дисконтуванням за інтенсивними відсотками*, а величина $r(t, \delta)$ – дисконтуючим множником за безперервною процентною ставкою.

Банківська дисконтування по обліковій ставці.

Сформулюємо одне із завдань банківського дисконтування по ефективній обліковій ставці. Припустимо, що в момент $t_0 = 0$ ми беремо в банку позику (кредит) на суму $C(0)$. Тоді в момент $t = 1$ (наприклад, через рік) ми повинні повернути банку суму, $C(1) = C(0) \cdot (1 + i)$, яка складається з двох частин: повернення основного капіталу $C(0)$ і відсотків на капітал $\Delta C(1) = C(0) \cdot i$, з ефективною процентною ставкою i на цей період.

В принципі банк може зажадати від нас, щоб належні йому відсотки $P(1) = \Delta C(1) = C(1) - C(0) = C(0) \cdot i$ на момент часу $t = 1$ ми виплатили наперед в момент $t_0 = 0$ отримання позики. Така фінансова операція називається *утриманням відсотків*. В цьому випадку процентну суму $P(1) = C(0) \cdot i$, яка повинна бути виплачена банку в момент $t = 1$, необхідно привести до моменту, $t_0 = 0$, при цьому вийде сума $P(0) = C(0) \cdot i \cdot (1 + i)^{-1}$. Тому якщо відсотки на капітал повинні бути виплачені заздалегідь, в момент $t_0 = 0$ отримання позики, то ці відсотки, що виплачуються вперед, складають частку $d = i/(1 + i)$ від суми позики $C(0)$, тобто $P(0) = C(0) \cdot d$. Величина d називається *ефективною обліковою ставкою* за одиницю часу. Вона показує, яку частку становлять утримані відсотки від суми позики, виданої на одиницю часу і зазвичай задається у відсотках: $d\% = P(0)/C(0) \cdot 100\%$. Тепер, після того як ми виплатили заздалегідь банку належні йому відсотки в сумі $P(0) = C(0) \cdot d$ на момент отримання позики, то після закінчення терміну позики один рік ми повертаємо банку лише суму позики $C(0)$.

Ефективна облікова ставка d дозволяє також розрахувати відсотки $P(1) = \Delta C(1) = C(1) - C(0)$ на момент часу $t = 1$, тобто дисконт з суми $C(1)$ на момент часу $t_0 = 0$: $\Delta C(1) = C(1) \cdot d = C(0) \cdot i$, а також величину позики $C(0) = C(1) - \Delta C(1) = C(1) \cdot (1 - d)$ за відомою сумою $C(1)$ погашення позики на момент часу $t = 1$.

Ефективна облікова ставка d може бути виражена і через коефіцієнт дисконтування $v = (1 + i)^{-1} = \exp(-\delta)$:

$$d = 1 - (1 + i)^{-1} = 1 - e^{-\delta}.$$

Припустимо тепер, що сума $C(0)$ дається банком на час $1/p$ з завчасною виплатою відсотків. При цьому ефективна процентна ставка на одиницю часу дорівнює j , а ефективна процентна ставка на період $1/p$ дорівнює $i^{(p)} = j_p^*/p$, де j_p^* – номінальна процентна ставка на одиницю часу. Як було вже встановлено раніше для нарахування за простими відсотками ефективна і номінальна відсоткові ставки збігаються, тобто $j_p^* = j$ і $i^{(p)} = j/p$. Тому, сума $P(1/p) = \Delta C(1/p) = C(1/p) - C(0)$, яка повинна бути виплачена в момент $t = 1/p$ у вигляді

відсотків обчислюється за формулою $P(1/p) = C(0) \cdot j/p$. Якщо її привести до моменту $t_0 = 0$, то вона перетвориться в суму $P(0) = C(0) \cdot (j/p) \cdot (1 + j/p)^{-1} = C(0) \cdot j/(p + j)$. Звідси ефективна облікова ставка $d_{\Pi}^{(p)}$ за час $1/p$ при нарахуванні простих відсотків дорівнює $j/(p+j)$: $d_{\Pi}^{(p)} = j/(p+j)$. Оскільки з ефективної облікової ставки за одиницю часу $d = j/(1 + j)$ виходить, що $j = d/(1 - d)$, тоді для ефективної облікової ставки $d_{\Pi}^{(p)}$ за проміжок часу $1/p$ отримаємо формулу, що встановлює зв'язок між $d_{\Pi}^{(p)}$ і d :

$$d_{\Pi}^{(p)} = \frac{j}{p+j} = \frac{\frac{d}{1-d}}{p + \frac{d}{1-d}} = \frac{d}{p(1-d)+d} = \frac{d}{p-(p-1)d}. \quad (5.13)$$

У разі нарахування складних відсотків і якщо при цьому ефективна процентна ставка на одиницю часу дорівнює j , а номінальна процентна ставка на одиницю часу дорівнює j_p^* , то ефективна процентна ставка на період $1/p$ дорівнює $i_c^{(p)} = j_p^*/p = (1 + j)^{1/p} - 1$. Отже, в разі складних відсотків сума $P(1/p)$, яка повинна бути виплачена в момент $t = 1/p$ у вигляді відсотків обчислюється за формулою $P(1/p) = C(0) \cdot [(1 + j)^{1/p} - 1]$. Якщо її привести до моменту $t_0 = 0$, то вона перетвориться в суму $P(0) = C(0) \cdot i_c^{(p)} \cdot (1 + j)^{-1/p} = C(0) \cdot (1 - (1 + j)^{-1/p})$. Звідси ефективна облікова ставка $d_c^{(p)}$ за час $1/p$ при нарахуванні складних відсотків дорівнює $1 - (1 + j)^{-1/p}$: $d_c^{(p)} = 1 - (1 + j)^{-1/p}$. Тепер з урахуванням того, що $j = d/(1 - d)$, тоді для ефективної облікової ставки за час $1/p$ отримаємо формулу

$$d_c^{(p)} = 1 - (1 + j)^{-1/p} = 1 - (1 + d/(1 - d))^{-1/p} = 1 - (1 - d)^{1/p} \quad (5.14).$$

Однак у фінансовій математиці прийнято працювати не з ефективними (реальними) обліковими ставками за час $1/p$, а з так званими *номінальними* (умовними, неіснуючими реально) *обліковими ставками*, віднесеними, як і d , на одиницю часу. Тоді з урахуванням формул (5.13) і (5.14) для простих і складних відсотків відповідно, маємо

$$d_n^{*(p)} = p \cdot d_p = p \cdot \frac{d}{p-(p-1)d}; \quad (5.15)$$

$$d_c^{*(p)} = p \cdot d_p = p \cdot \left(1 - (1 - d)^{\frac{1}{p}}\right) \quad (5.16)$$

Величину облікової ставки $d^{*(p)}$, віднесеної на одиницю часу, називають *номінальною обліковою ставкою, яка нараховується з частотою p* .

Номінальна облікова ставка $d^{*(p)}$, віднесена на одиницю часу як для простих (5.15), так і складних (5.16) відсотків завжди більше реальної ефективної облікової ставки d , віднесеної на одиницю часу. Розглянемо це на конкретному прикладі. Нехай річна ефективна процентна ставка $j=0,25(j\%=25\%)$ і відсотки нараховуються поквартально, тобто $p=4$. При цьому річна ефективна облікова ставка $d = j/(1 + j) = 0,2$, а ефективні облікові ставки на проміжку часу $1/p$ за простими відсотками згідно (5.13) $d_{\pi}^{(p)} = \frac{d}{p - (p-1)d} = \frac{0,2}{4 - (4-1)0,2} \approx 0,0588$, по складним відсоткам згідно (5.14) $d_c^{(p)} = 1 - (1 - d)^{1/p} \approx 0,05426$. У цьому випадку річна номінальна облікова ставка, отримана з (5.15) $d_{\pi}^{*(p)} = 4 \cdot 0,0588 = 0,2352$, а з (5.16) $d_c^{*(p)} = 4 \cdot 0,05426 = 0,217$.

Тепер розглянемо ситуацію, коли банківське дисконтування відбувається не на одиницю часу або за ефективної облікової ставки d , або за номінальними обліковими ставками $d_{\pi}^{*(p)}$ і $d_c^{*(p)}$, заданими на одиницю часу, а на n одиничних проміжків часу. У цьому випадку, крім ефективної облікової ставки d , номінальних облікових ставок $d_{\pi}^{*(p)}$ і $d_c^{*(p)}$ для дисконтування застосовуються також проста і складна облікові ставки. Якщо нараховуються прості відсотки, то дисконтування проводиться за *простою обліковою ставкою* d_{π} . Якщо нараховуються складні відсотки, то – по *складній обліковій ставці* d_c . Крім цього, при використанні цих облікових ставок необхідно також враховувати скільки разів на одиницю часу проводиться дисконтування. Розглянемо застосування простої та складної облікових ставок на наступному прикладі. Припустимо, що власник векселя, за яким йому після закінчення терміну t векселя повинні виплатити суму $C(t)$ продає його в момент часу $t_0 = 0$, наприклад,

банку, раніше дати погашення векселя на n одиниць часу, тобто $t - t_0 = t = n$. Природно банк придбає його у власника за ціною $C(0)$ яка, менше суми $C(t) = C(n)$, зазначеної на векселі, тобто купує (враховує) його з дисконтом. Розмір дисконту $\Delta C(0) = C(n) - C(0)$, або сума обліку, нараховується на суму $C(n)$, що підлягає сплаті в кінці терміну n векселя на момент обліку векселя в банку $t_0=0$.

1. Дисконтування здійснюється за простою обліковою ставкою d_{Π} , яка нараховується один раз в одиницю часу на n одиничних проміжків часу. В цьому випадку дисконтування n раз за простою обліковою ставкою d_{Π} проводиться весь час з суми $C(n)$ і, отже, розмір дисконту $\Delta C(n)$, або сума обліку, становить $C(n) \cdot n \cdot d_{\Pi}$: $\Delta C(n) = C(n) \cdot n \cdot d_{\Pi}$, де n – термін від моменту обліку до дати погашення векселя. Таким чином,

$$C(0) = C(n) - \Delta C(n) = C(n) - C(n) \cdot n \cdot d_{\Pi} = C(n) \cdot (1 - n \cdot d_{\Pi}). \quad (5.17)$$

Тут $(1 - n \cdot d_{\Pi})$ є дисконтним множником $r(n, d_{\Pi})$ за простою обліковою ставкою d_{Π} : $r(n, d_{\Pi}) = (1 - n \cdot d_{\Pi})$. З формули (5.17) випливає, що при $n > 1/d_{\Pi}$ величина дисконтного множника за простою обліковою ставкою $r(n, d_{\Pi})$ і, отже, сума $C(0)$ стане негативною. Інакше кажучи, при відносно великому терміні векселя облік його може привести до нульової або навіть негативною суми $C(0)$, що позбавлене сенсу. Наприклад, при $d_{\Pi} \% = 20\%$ вже п'ятирічний термін достатній для того, щоб власник векселя нічого не отримав при його обліку. Така ситуація не виникає при дисконтуванні n раз по ефективній обліковій ставці d , яка нараховується один раз на одиницю часу. Дійсно, розмір дисконту $\Delta C(n) = C(n) - C(0)$ в цьому варіанті розрахунку визначається за формулою $\Delta C(n) = C(n) \frac{ni}{1+ni} = C(n) \frac{nd}{1+(n-1)d}$ і при $n \rightarrow \infty$ отримуємо, що $\Delta C(n) \rightarrow C(n)$. Тут $i = \frac{d}{1-d}$ – ефективна процентна ставка на одиницю часу, а проста облікова ставка $\frac{d}{1-d} d_{\Pi} = \frac{i}{1+ni} = \frac{d}{1+(n-1)d}$.

Проста облікова ставка d_{Π} іноді застосовується і при розрахунку нарощеної суми $C(n)$. Зокрема, в цьому виникає необхідність при визначенні суми $C(n)$, яку треба проставити в векселі, якщо задана

поточна сума боргу $C(0)$, або інакше сучасна вартість векселя $C(0)$. Нарощена сума $C(n)$ в цьому випадку визначається з формули (5.17): $C(n) = C(0) \cdot (1 - n \cdot d_{\pi})^{-1}$. Множник нарощення $M_n(n, d_{\pi})$ за простою обліковою ставкою тут дорівнює $(1 - n \cdot d_{\pi})^{-1}$.

Зауважимо, що при $n \rightarrow 1/d_{\pi}$ нарощена сума стає нескінченно великим числом, а при $n > 1/d_{\pi}$ розрахунок позбавлений сенсу, так як нарощена сума стає негативним числом. Така ситуація не виникає при дисконтуванні n раз по ефективній обліковій ставці d , яка нараховується один раз на одиницю часу: при будь-якому терміні n нарощена сума $C(n)$ більше нуля. Дійсно, множник нарощення $M_n(n, d)$ в цьому варіанті розрахунку визначається за формулою $M_n(n, d) = 1 + n \cdot i = \frac{1+(n-1)d}{1-d}$ і при $d < 1$ для будь-якого $n > 1$, $M_n(n, d) > 0$ і, отже, нарощена сума $C(n)$ завжди більше нуля. Тут $i = \frac{d}{1-d}$ – ефективна процентна ставка на одиницю часу.

2. Дисконтування відбувається по складній обліковій ставці d_c , яка нараховується один раз на одиницю часу. В цьому випадку дисконтування на n одиничних проміжків часу здійснюється наступним чином. Кожен раз облікова ставка d_c застосовується не до первісної суми $C(n)$, яка дисконтується (як з простої облікової ставки), а до суми, дисконтованої на попередньому кроці часу. Тому дисконтування по складній обліковій ставці d_c здійснюється за формулою

$$C(0) = C(n) \cdot (1 - d_c)^n. \quad (5.18)$$

З формули (5.18) випливає, що дисконтуючий множник $r(n, d_c)$ по складній обліковій ставці d_c дорівнює $(1 - d_c)^n$. Розмір дисконту $\Delta C(n) = C(n) - C(0) = C(n) \cdot (1 - (1 - d_c)^n)$. Множник нарощення $M_c(n, d_c) = (1 - d_c)^{-n}$.

Наведемо приклад використання складної і простої облікових ставок. Боргове зобов'язання на суму 5 млн. грн., термін оплати якого настає через 5 років, продано з дисконтом по складній обліковій ставці 15% річних. Який розмір, отриманої за борг суми $C(0)$ і величина дисконту $\Delta C(n)$ (в тис. грн.)?

При використанні складної облікової ставки, маємо: $C(0) = C(n) \cdot (1 - d_c)^n = 5000 \cdot (1 - 0,15)^5 = 2218,5$ тис. грн.; $\Delta C(n) = C(n) - C(0) = 5000 - 2218,5 = 2781,5$ тис. грн.

Якщо застосувати просту облікову ставку того ж розміру, то: $C(0) = 5000 \cdot (1 - 0,15) = 1250$ тис. грн.; $\Delta C(n) = 5000 - 1250 = 3750$ тис. грн.

Як впливає з наведеного прикладу дисконтування по складній обліковій ставці вигідніше для боржника, ніж за простою обліковою ставкою. Сказане стає зрозумілим при порівнянні формул для дисконтних множників: $r(n, d_{\pi}) = (1 - n \cdot d_{\pi})$ і $r(n, d_c) = (1 - d_c)^n$. Відповідно до першої з наведених формул значення дисконтного множника $r(n, d_{\pi})$ рівномірно зменшується в міру зростання n і досягає нуля при $n = 1/d_{\pi}$. Згідно з другою – множник $r(n, d_c)$ експоненціально зменшується і досягає нуля лише в межі, при $n \rightarrow \infty$. Величини дисконтних множників множителей $r(n, d_{\pi})$ і $r(n, d_c)$ при застосуванні простої d_{π} і складної d_c облікових ставок, відповідно, показані на рис.7.

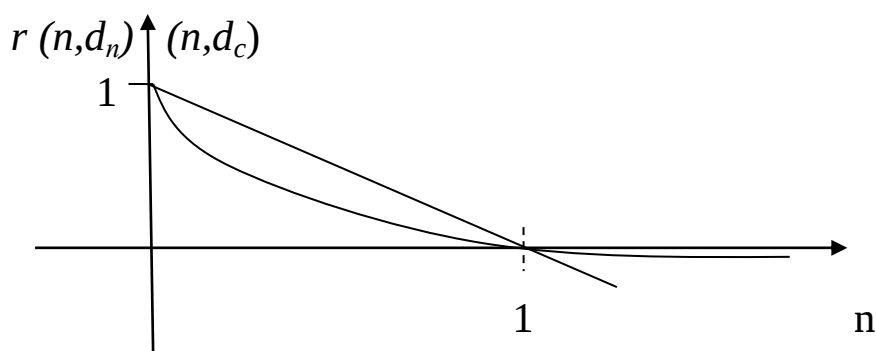


Рис. 7

2. Дисконтування проводиться не один, а m раз в одиницю часу на n одиничних проміжків часу, тобто кожен раз на часовому проміжку $1/m$ облік здійснюється за обліковою ставкою, де $d^{*(m)}$ – номінальна облікова ставка на одиницю часу, яка нараховується з частотою m . В цьому випадку для простої облікової ставки, що нараховується з частотою m при нарахуванні її раз, отримуємо

$$C(0) = C(n) \cdot \left(1 - n \cdot m \cdot \frac{d_{\Pi}^{*(m)}}{m}\right) = C(n) \cdot \left(1 - n \cdot d_{\Pi}^{*(m)}\right).$$

Тут $d_{\Pi}^{*(m)}$ – номінальна облікова ставка на одиницю часу, яка нараховується з частотою m за простою обліковою ставкою $d_{\Pi}^{(m)}$ на часовому проміжку $1/m$.

Звідси для дисконтного множника за простою обліковою ставкою, отримуємо $r_c(n, d_c^{*(m)}) = \left(1 - \frac{d_c^{*(m)}}{m}\right)^{mn}$, а для множника нарощення $M_c(n, d_c^{*(m)}) = \left(1 - \frac{d_c^{*(m)}}{m}\right)^{-mn}$.

Для складної облікової ставки $d_c^{(m)}$ при нарахуванні її $n \cdot m$ раз, отримуємо

$$C(0) = C(n) \cdot \left(1 - \frac{d_c^{*(m)}}{m}\right)^{mn}.$$

Звідси для дисконтного множника за складною обліковою ставкою, отримуємо $r_c(n, d_c^{*(m)}) = \left(1 - \frac{d_c^{*(m)}}{m}\right)^{mn}$, а для множника нарощення $M_c(n, d_c^{*(m)}) = \left(1 - \frac{d_c^{*(m)}}{m}\right)^{-mn}$.

Якщо задана ефективна облікова ставка d на одиницю часу, то номінальні облікові ставки $d_{\Pi}^{*(m)}$ і $d_c^{*(m)}$ на одиницю часу можна визначити з формул (5.15) і (5.16) за умови, що $p = m$. З цих формул випливає, що для простої облікової ставки

$$d_{\Pi}^{*(m)} = m \cdot \frac{d}{m - (m-1)d},$$

а для складної облікової ставки

$$d_c^{*(m)} = m \cdot \left(1 - \sqrt[m]{1 - d}\right).$$

Контрольні питання до тем

ТЕМА 1. ОСНОВИ ТЕОРІЇ СИСТЕМ

1. Що собою являє дисципліна «теорія систем» і що є її об'єктом дослідження?
2. Дайте роз'яснення змісту наукового поняття в терміні «система» і опишіть її властивості.
3. У чому полягають основні функції системи, що розуміється під метою системи і критерієм мети і яким умовам повинна задовольняти мета системи?
4. Що розуміється під зовнішнім середовищем і ресурсами в теорії систем, і яка їхня роль у функціонуванні системи?
5. Дайте роз'яснення наукового поняття «структура системи» з точки зору теорії систем.
6. Дайте роз'яснення поняттю «стан системи» і охарактеризуйте основні типи поведінки системи.
7. Що розуміється під зв'язком і взаємозв'язком між елементами системи?
8. Структурні уявлення систем як засіб їх дослідження.
9. Що собою являють рекурсивна, синергетична і циклічна зв'язок?
10. Що собою являє зворотний зв'язок і його призначення?
11. У чому полягає основний принцип функціонування складних саморегулюючих, самоорганізуючих систем?
12. За якими ознаками, і на які види класифікуються системи в теорії систем?
13. Сформулюйте три основних концептуальних питання теорії систем.
14. Перерахуйте контрольні питання, за якими можна встановити чи задовольняє система усім вимогам з точки зору теорії систем.
15. Які основні принципи опису систем?
16. Які основні моменти повинні бути відображені в описі системи?
17. У чому полягає проблема при переході від вербального опису системи до формального опису?
18. Що означає формалізація системи, і які її основні етапи?
19. Призначення і синтез формальної схеми структури системи.
20. Чим необхідно керуватися при виборі параметрів опису системи і її елементів?

ТЕМА 2. ОСНОВИ СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ

21. Дайте роз'яснення змісту наукового поняття в терміні «системний аналіз» і розкрийте зміст основних завдань системного аналізу.
22. Що являє собою «системний підхід» в придбанні знань, і на які основні моменти звертають увагу в системному аналізі?
23. Перерахуйте основні принципи системного підходу.
24. Які дії передбачає реалізація системного підходу?
25. У чому полягає основне значення системного аналізу і де його можна і потрібно застосовувати?
26. Розкрийте зміст основних підходів, що застосовуються в системному аналізі.
27. У чому полягає специфіка математичного та логічного підходів в системному аналізі?
28. Яким критеріям має відповідати модель в системному аналізі та принципи їх класифікації?
29. Яка мета моделювання в системному аналізі, і на які моменти слід звертати увагу при моделюванні?
30. Що собою являє математична модель і її призначення?
31. Дайте роз'яснення змісту наукового поняття в терміні «цільова функція системи» і її призначення.
32. У чому відмінність аналітичної та імітаційної математичної моделі?
33. У чому відмінність детермінованої і стохастичної математичної моделі?
34. Яка методологія логічного системного аналізу і сфера його застосування?
35. У чому полягає системне розуміння мети, і якими правилами необхідно керуватися при побудові «дерева цілей»?
36. Що розуміється під проблемою і в чому полягає метод постановки і формулювання проблеми в системному аналізі?
37. Перерахуйте типи проблем для вирішення, яких застосовується системний аналіз, і дайте характеристику його ефективності по кожній проблемі.
38. Що розуміється під рішенням проблеми в системному аналізі?
39. У чому полягає проблема порівняння систем?
40. Назвіть дві сторони кількісного представлення систем, найбільш вживані при їх порівнянні, і дайте їм характеристику.

41. Яким чином здійснюється оцінка діяльності системи по досягненню мети, яка може бути виражена єдиним критерієм?
42. У чому полягає проблема скаляризації критеріїв і опишіть основні принципи її вирішення?

ТЕМА 3. Системи управління

43. Що розуміється під керуючою системою і які її основні завдання?
44. Що розуміється під системою управління, і які її основні функції?
45. Що розуміється під аналізом систем управління, і які його цілі?
46. Перерахуйте основні завдання аналізу системи управління.
47. В чому полягає зміст рішень наступних завдань аналізу систем управління: визначення об'єкта аналізу; структурування системи?
48. В чому полягає зміст рішень наступних завдань аналізу систем управління: визначення функціональних особливостей системи; дослідження інформаційних характеристик системи?
49. В чому полягає зміст вирішення наступного завдання аналізу систем управління: визначення кількісних і якісних показників системи?
50. В чому полягає зміст рішень наступних завдань аналізу систем управління: оцінка ефективності; узагальнення та оформлення результатів аналізу?
51. Що розуміється під синтезом систем управління, які його цілі і для яких випадків вони реалізуються?
52. У чому полягає сутність структурного синтезу і які його основні компоненти?
53. Перерахуйте основні завдання синтезу системи управління.
54. В чому полягає зміст рішень наступних завдань синтезу систем управління: формування задуму і цілі створення системи управління; формування варіантів нової системи?
55. Який порядок побудови концептуальної моделі варіанту нової системи управління?
56. В чому полягає зміст рішень наступних завдань синтезу систем управління: приведення описів варіантів системи у взаємну відповідність; оцінка ефективності варіантів і прийняття рішення про вибір варіанта нової системи?

57. В чому полягає зміст рішень наступного завдання синтезу систем управління: розробка вимог і програм їх реалізації до системи управління?
58. У чому полягає сутність і мета структурного аналізу і синтезу системи управління, які їхні етапи і зміст?
59. У чому полягає сутність і мета функціонального аналізу і синтезу системи управління, які їхні етапи і зміст?
60. У чому полягає сутність і мета інформаційного аналізу і синтезу системи управління, які їхні етапи і зміст?
61. У чому полягає сутність і мета параметричного аналізу і синтезу системи управління, які їхні етапи і зміст?

ТЕМА 4. ЕКОНОМІЧНІ СИСТЕМИ

62. Дайте визначення економічної системі і опишіть її основні властивості.
63. За якими ознаками здійснюється класифікація економічних систем, і на які типи поділяються економічні системи за цими ознаками?
64. На яких принципах засновані традиційна, командна і ринкова економічні системи?
65. Що собою являє змішана економічна система, які її основні завдання та моделі?
66. Яка економічна система називається перехідною і в чому її особливості?
67. Дайте характеристику наступним моделям змішаної економіки: неоетатистська, неоліберальна.
68. Дайте характеристику наступним моделям змішаної економіки: модель узгодженої дії, еклектична.
69. Дайте обґрунтування застосування системного підходу в економіці.
70. Перерахуйте найбільш поширені типи ситуацій управління економічними об'єктами, в яких можливе застосування системного аналізу.
71. Які процедури передбачає методика системного аналізу економічних систем?
72. У чому специфіка аналізу і синтезу економічного об'єкта як цілеспрямованої системи?
73. Яким чином здійснюється морфологічний опис економічної системи?

74. Які дослідження припускають такі рівні аналізу і синтезу економічних систем: зовнішній, вихідний, загальносистемний, системний?
75. У чому полягає специфіка побудови «дерева цілей» для економічної системи?
76. У чому полягають інформаційні аспекти системного аналізу економічних систем?
77. Які цілі для економічних систем мають першорядне значення на сучасному етапі економічних відносин?
78. Наведіть приклад системи збалансованих показників, яка дозволяє контролювати тактичний стан і стратегічний розвиток бізнесу.
79. Яка структура і системне призначення основних інформаційних потоків в економічних системах?
80. На які рівні поділяється управління виробництвом і як називаються інформаційні потоки, що відповідають цим рівням?
81. За якими ознаками в залежності від виду інформаційного забезпечення розрізняють процес вироблення і прийняття оптимальних управлінських рішень виробництвом?
82. Сформулюйте основні проблеми, що виникають при управлінні виробництвом, і пов'язані з інформаційним забезпеченням.
83. Сформулюйте основні інформаційні проблеми управління виробництвом, пов'язані із застосуванням тих чи інших інформаційних технологій?
84. Уявіть економічний об'єкт – підприємство як систему і дайте їй характеристики.
85. Економічний об'єкт – як система, її характеристики і в чому полягає поняття управління нею.
86. Перерахуйте і дайте роз'яснення основних завдань управління економічними системами.
87. Опишіть структуру системи управління економічними системами та дайте роз'яснення її елементів.
88. Опишіть структуру системи управління економічним об'єктом – підприємство.
89. Перерахуйте і дайте роз'яснення основних завдань управління економічними системами.

90. Що розуміється під проблемою і її рішенням для економічної системи?
91. В чому полягає концепція зворотного зв'язку в економічних системах.
92. Яким чином організовується зворотний зв'язок на підприємстві?
93. У чому полягає системний підхід для аналізу економічного об'єкта?

ТЕМА 5. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЕКОНОМІЧНИХ СИСТЕМ

94. Опишіть роль моделювання для економічних систем.
95. В чому полягає суть математичного моделювання економічних систем?
96. Опишіть схему операційного дослідження економічних систем.
97. Сформулюйте, що представляє собою цільова функція математичної моделі економічної системи?
98. Опишіть структуру статичної математичної моделі економічної системи для оптимізаційної задачі.
99. Дайте визначення «чорного ящика». Наведіть приклади економічних систем, в яких використовується цей спосіб моделювання.
100. Опишіть приклади використання концепції «вхід-вихід» при моделюванні економічних систем. Зокрема, чи використовується ця концепція в мікроекономіці? Відповідь аргументуйте.
101. Наведіть визначення оператора і умов, при яких чорний ящик може виконувати функції оператора. Чи завжди чорний ящик є оператором? Відповідь аргументуйте і наведіть приклади.
102. Що таке «лінійний оператор»? За яких умов чорний ящик можна розглядати як лінійний оператор? Наведіть приклади.
103. Що таке випадковий процес? Наведіть Ваше власне визначення для цього поняття.
104. Наведіть приклади економічних систем, де з'являються або використовуються випадкові процеси.
105. Сформулюйте Ваше власне визначення керуючих параметрів. Наведіть приклади керуючих параметрів для економічних систем.

106. Що таке позитивний і негативний зворотний зв'язок? Сформулюйте Ваше власне визначення цих понять. Наведіть приклади цих зв'язків для економічних систем.
107. Наведіть приклади економічних задач, де необхідно за допомогою управління забезпечити стійкість економічної системи. Опишіть, як би Ви домагалися поставленої мети.
108. Наведіть приклади економічних задач, де необхідно за допомогою управління забезпечити перехід економічної системи в новий стан. Опишіть, як би Ви домагалися поставленої мети.
109. Наведіть приклади економічних систем (об'єктів, процесів), для яких справедлива модель лінійного зворотного зв'язку (модель Мальтуса). Яким чином Ви пропонуєте в рамках наведених Вами прикладів здійснювати управління параметром γ ?
110. Наведіть приклади економічних систем (об'єктів, процесів), для яких буде справедливим нелінійний зворотний зв'язок (модель Ферхюльста). Опишіть, як Ви пропонуєте здійснювати зміну керуючих параметрів.
111. Опишіть математичну модель задачі виробничого планування.
112. Опишіть математичну модель транспортної задачі.
113. В чому полягає суть математичного моделювання фінансових операцій?
114. Назвіть відомі Вам фінансові операції, для яких математичне моделювання є необхідною складовою розрахунків.
115. Сформулюйте одну з задач математичного дисконтування і запишіть математичну модель цієї задачі.
116. Сформулюйте одну з задач банківського дисконтування за обліковою ставкою і запишіть математичну модель цієї задачі.
117. Запишіть математичну модель банківського обліку векселя на будь-який момент часу в проміжку від його придбання і погашення.

ЛІТЕРАТУРА

1. Спіцнадель В. Н. Основи системного аналізу: Учб. посібник.// СПб.: «Вид. будинок «Бізнес-преса», 2000 р - 326 с.
2. Буторін В.К. Введення в системний аналіз. Курс лекцій. // Видання 2-е, перероблене і доповнене / Новокузнецьк: НФІ КемГУ. - 2005. - 72 с.
3. Кричевський А.І Основи системного аналізу: Курс лекцій. // Новосибірський державний університет економіки і управління, 2009р. - 136 с.
4. *Планкетт Л., Хейл Г.* Вироблення і прийняття управлінських рішень // М.: економіка 2002.- 300 с.
5. Качала В.В. Основи теорії систем і системного аналізу. Навчальний посібник для вузів.// М.: Гаряча лінія - Телеком, 2007. 216 с.
6. Черняк Ю.І. Аналіз і синтез систем в економіці.// М.: Економіка, 1970. - 151 с.
7. В.Н. Волкова, А.А. Денисов. Основи теорії систем і системного аналізу: Підручник.// Изд. 3-е перероблене і доповнене. СПб: Изд-во СПбГТУ, 2003. - 512с.
8. Берталанфи Л. Загальна теорія систем - критичний огляд // Дослідження з загальної теорії систем. - М.: Прогрес, 1969. С. 23-82.
9. Перегудов Ф.І., Тарасенко Ф.П. Введення в системний аналіз. // М.: Вищ.шк., 1989. - 367с.
10. А.Р. Діязітдінова, І.Б. Кордонська. Загальна теорія систем і системний аналіз. Навчальний посібник // Самара: ПГУТІ, 2017.-125с.
11. Чернишов, В.Н.,А.В. Чернишов. Теорія систем і системний аналіз: навчальний посібник // Тамбов: Вид-во Тамбов. держ. техн. ун-ту, 2008. - 96 с.
12. Черняк Ю.І. Системний аналіз в управлінні економікою.// М.: Економіка, 1975. - 191 с.
13. Мухін В.І., Малінін В.С. Дослідження систем управління: Підручник для вузів. // М: Видавництво «Іспит», 2003. - 384 с.
14. *Мільнер Б.З., Євєнко Л.І., Рапопорт В.С.* Системний підхід в організації управління // М.: економіка 1983.-355 с.
15. *Бусленко Н.П.* Моделювання складних систем // М.: Наука, 1978.-400с.